PARTEA A II–A

COMPLETĂRI, ÎNTREBĂRI ŞI RĂSPUNSURI

Introducere

În această parte, reluăm aceleaşi capitole, încercând să realizăm o adâncire a cunoştinţelor, adaugând diverse observaţii sau aspecte particulare, dar cu sublinierea faptelor esenţiale.

Vom urmări totodată o modalitate de recapitulare nemecanică, ocazia unor autoverificări şi, sperăm, stârnirea curiozităţii cititorului.

În sprijinul tinerilor studioşi, vom aduce în discuţie analiza unor greşeli care se fac în mod curent la examene sau concursuri. Pe scurt, dorim să aplicăm îndemnul:

Învăţăm, gândim, înţelegem şi progresăm !

CAPITOLUL 1′ - FENOMENE MECANICE

Ce se înţelege prin „punct material” ?

Răspuns: Este un obiect ideal şi comod pentru descrieri matematice, concept adoptat în Mecanica newtoniană; el este un „corp” redus la un punct, fără dimensiune spaţială, având masa nenulă. Punctul material se mai numeşte **mobil**, într-o direcţie nedeterminată. La scară umană, o insectă poate fi considerată un

punct material; iar la scară cosmică, oricare din noi şi chiar Luna poate fi “un punct material”.

- Ştiţi cine a introdus termenii de punct material (≡mobil) şi de traiectorie ?

Răspuns (R): Euler.

Intuitiv, o traiectorie este mulţimea poziţiilor în timp ale unui mobil în raport cu un reper. Cu 200 de ani înainte de Euler, Galilei şi Descartes (≡Cartesius) introduseseră coordonatele şi graficele de funcţii.

- Două sfere în spaţiu au centrele C_1, C_2 şi traiectoriile acestor centre se intersectează într-un punct A. Este obligatoriu ca sferele să se intersecteze ?

(R) Nu neapărat, dacă diferă momentele trecerii centrelor prin A sau dacă diferă razele sferelor.

- Ce sunt vectorul–deplasare şi drumul parcurs de un mobil ?

(R) Dacă un mobil se deplasează unisens dintr-un punct iniţial A într-unul terminal B, vectorul $\overrightarrow{AB}$ se numeşte **vector–deplasare**.

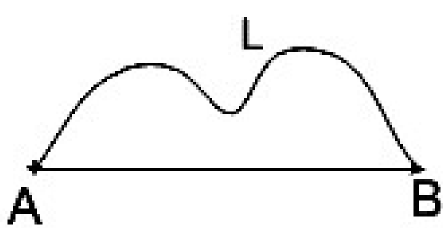


Fig. 1’.1

Se introduce şi conceptul de **vector–deplasare infinitezimală**, notat $d\vec{r}$, cu direcţie nedeterminată şi lungime

(mărime) „mică” nenulă. **Drumul parcurs** de un mobil de la A la B este lungimea L a traiectoriei ($L \geq \left\|\overline{AB}\right\|$; figura 1′.1).

Notă: Fixând un reper ortonormal plan xOy de versori $\vec{i}$, $\vec{j}$, dacă $A(x,y)$ şi $B(x+dx,y+dy)$, atunci $\overrightarrow{AB} \equiv d\vec{r} = dx\vec{i} + dy\vec{j}$. Mărimea acestui vector este $ds = \left\|d\vec{r}\right\| = \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2}$, numită **element de arc**.

- Un copil (asimilat cu un punct material) a mers 2 km spre Nord, apoi 3 km spre Est, 1 km spre Sud şi, în fine, 1 km spre Vest. Să se indice vectorul–deplasare şi drumul L parcurs de acel copil.

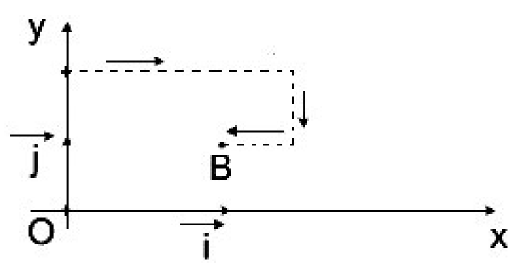


Fig. 1’.2

(R) Alegem un reper ortonormal xOy de versori $\vec{i}$ $\vec{j}$, având originea în punctul de plecare şi punctul terminal B (figura 1′.2). Atunci B are coordonatele $B(2, 1)$. Luăm 1 km ca unitate. Vectorul–deplasare este $\overrightarrow{OB} = 2\vec{i} + \vec{j}$ şi drumul parcurs este L=2+3+1+1=7 km; aşadar, $L \neq \left\|\overrightarrow{OB}\right\| = \sqrt{5}$.

- Cunoaşteţi accepţiunile termenului „timp”?

(R) Timpul este un concept filozofic asociat cu cel de spaţiu. În Matematică şi Fizică, timpul este considerat o variabilă independentă, situată pe o semi–axă având originea în momentul „big–bang”. Timpul are mai multe accepţiuni distincte: ca momente fixate t_0, t_1, t_2, …, ca durate Δt între momente fixate sau ca tacţi (măsuri ale unor cadenţe periodice). O mulţime–timp este o mulţime ordonată $T \subset \mathbb{R}$; dacă $T = \mathbb{N}$ se spune că timpul este discret („pe sărite”) şi dacă T este un interval, timpul este continuu (sau, mai corect, continual).

- Ce este viteza medie v_m a unui mobil pe un interval de timp $\Delta t = [t_1, t_2]$?

(R) $v_m = \dfrac{L}{t_2 - t_1}$, unde L este drumul parcurs de mobil, nu neapărat rectiliniu.

Notă: Pentru orice moment t, să notăm $s(t)$=drumul parcurs de mobil până la momentul t. Diferenţa $s(t_2)-s(t_1)$ este notată Δs şi este numită creşterea drumului pe durata Δt deci $v_m = \dfrac{\Delta s}{\Delta t}$.

- Un biciclist a parcurs prima jumătate a unui drum cu viteza v_1=12 km/h (mişcare rectilinie uniformă) şi cea de a doua jumătate cu v_2=18 km/h, tot uniform. Care a fost viteza medie a biciclistului pe toată durata deplasării?

(R) Este greşit răspunsul v_m=15 km/h. Corect este să notăm cu L drumul parcurs, deci timpul de parcurgere a primei jumătăţi este $\dfrac{L/2}{v_1} = \dfrac{L}{24}$ şi al celeilalte jumătăţi, $\dfrac{L}{36}$. Viteza cerută este

$$\frac{L}{(L/24+L/36)}=\frac{72}{5}=14{,}4 \text{ km/h}.$$ În general, $v_m=\frac{2v_1v_2}{v_1+v_2}$

(media armonică a vitezelor v_1, v_2).

- Ce este viteza instantanee a unui mobil?

(R) Fixăm un moment t_0 şi un interval „mic” de timp $[t_0, t_0+h]$. Viteza medie pe acest interval este $\frac{\Delta s}{\Delta t}=\frac{s(t_0+h)-s(t_0)}{h}$ şi viteza instantanee la momentul t_0 este limita $\lim_{h\to 0}\frac{\Delta s}{\Delta t}$ (limită de tipul $\frac{0}{0}$), notată $v(t_0)$. La orice moment t, $v(t)=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta s}{\Delta t}=s'(t)$.

Nu se pot evita derivatele.

- Cum se definesc acceleraţia medie şi acceleraţia instantanee?

(R) Acceleraţia medie pe un interval de timp $[t_1, t_2]$ este $a_m=\frac{v(t_2)-v(t_1)}{t_2-t_1}=\frac{\Delta v}{\Delta t}$ şi acceleraţia instantanee la momentul t_0 este $a(t_0)=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta v}{\Delta t}=v'(t_0)$, adică derivata vitezei.

- Ce se întîmplă dacă $v(t_0)=0$ şi $a(t_0)\neq 0$? Dar dacă $v(t_0)\neq 0$ şi $a(t_0)=0$?

(R) În primul caz, mobilul este în repaus la momentul t_0. De exemplu, aruncând o pietricică vertical în sus, în punctul cel mai de sus pietricica este în repaus şi are acceleraţia gravitaţională. Pentru cazul secund, să presupunem că $s(t)=\sin t$ şi $t_0=0$. Deci $v(t)=\cos t$, $a(t)=-\sin t$, deci $v(t_0)=1$ şi $a(t_0)=0$; nimic semnificativ.

- Se poate întâmpla ca într-o mişcare rectilinie, vectorii – viteză şi acceleraţie să nu aibă acelaşi sens?

(R) Ne imaginăm un lift care coboară cu viteză medie descrescătoare; atunci vectorul – viteză este orientat în jos şi acceleraţia în sus.

- Ce ştiţi despre vectorul – viteză, dacă un mobil se deplasează pe o curbă (în particular, pe un cerc)?

(R) Vectorul – viteză este orientat pe tangenta la curbă. În cazul mişcării circulare uniforme pe un cerc de rază R, mărimea vectorilor – viteză şi acceleraţie sunt: $v = R \cdot \omega$ și $a = \frac{v^2}{R}$ (unde ω este viteza unghiulară).

- Cunoscând expresia drumului parcurs unisens $s=s(t)$, viteza la orice moment t_0 este $v(t_0)=s'(t_0)$. Dar invers? Deci cunoscând viteza $v=v(t)$, se poate determina drumul parcurs?

(R) Cunoscând valoarea $s(t_0)$ la un anumit moment, atunci pentru orice t, $s(t) = s(t_0) + \int_{t_0}^{t} v(t)dt$.

Exemplu concret: dacă $s(t) = \frac{at^2}{2}$ (cu a=const.), rezultă:

$$v(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{s(t+\Delta t) - s(t)}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{a(t+\Delta t)^2 - at^2}{2\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{2at \cdot \Delta t - (\Delta t)^2}{2\Delta t} = at$$

Invers, dacă $v(t)=at$ şi $s(0)=0$, atunci $s(t) = \int_0^t at \cdot dt = \frac{at^2}{2}$.

Recunoaştem formulele căderii libere (cu acceleraţia gravitaţională g).

Ştiţi cine a introdus noţiunea de acceleraţie?

(R) Galilei, în legătură cu căderea corpurilor. Tot Galilei a intuit faptul că acceleraţia unui corp este dependentă de forţele care acţionează asupra lui, anticipând pe Newton.

Măsurând s şi t fără viteză iniţială, Galilei a observat că raportul $\frac{s}{t^2}$ este constant (notat cu $g/2$). Aşa a dedus el celebra formulă $s = \frac{gt^2}{2}$.

Două trenuri merg unul spre celălalt: unul accelerat spre Nord şi celălalt, decelerat, spre Sud. Cum sunt orientate acceleraţiile lor?

(R) Au acelaşi sens, spre Nord.

Prin ce diferă dinamica de cinematică?

(R) Cinematica studiază mişcarea în timp, fără a lua în consideraţie forţele. În dinamică, rolul principal îl au forţele aplicate diverselor corpuri. Forţele sunt un rezultat al acţiunii reciproce a corpurilor, deci pentru a indica forţele aplicate unui corp trebuie analizate corpurile cu care el interacţionează.

Direcţia forţei care acţionează asupra unui corp este sau nu aceeaşi cu direcţia mişcării ?

(R) Aşa credea Aristotel în Antichitate. Direcţia mişcării este cea a vectorului viteză. Newton a arătat că vectorial forţa are aceeaşi direcţie cu acceleraţia, nu cu viteza.

Exemplu concret: în mişcarea circulară uniformă, vectorul – viteză este orientat pe tangentă, iar vectorul – acceleraţie, spre centru.

- Considerăm următoarele 3 situaţii, unde neglijăm rezistenţa aerului (figura 1'.3, a, b, c):

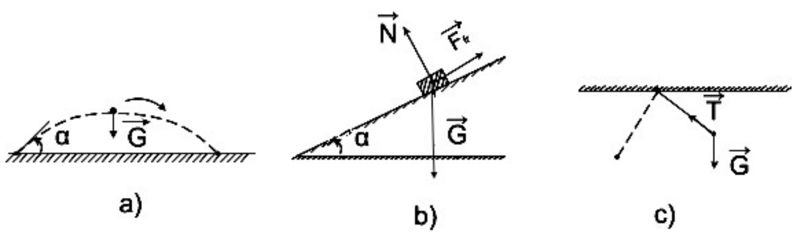


Fig. 1'.3

a) corp aruncat sub unghiul *α* faţă de orizontală;
b) corp care alunecă pe un plan înclinat;
c) corp care oscilează în plan vertical.

Să se indice în fiecare caz forţele aplicate corpului.

(R) a) Singurul corp cu care interacţionează este Pământul. Forţa ce acţionează asupra corpului este greutatea sa $\vec{G}$. Nu există „forţe de aruncare" sau „de frecare". b) Asupra corpului („penar") acţionează Pământul, deci greutatea $\vec{G}$, o forță de frecare și reacțiunea $\vec{N}$ a planului. Descompunem vectorial $\vec{G}$ în cele două componente: una în lungul planului şi alta perpendiculară pe plan – reacţia sprijinului $\vec{N}$; avem N=Gsin$α$, $\left\|\vec{F}_{fr}\right\| = k \cdot \left\|\vec{N}\right\|$, unde k este coeficientul de frecare. c) Asupra corpului acţionează $\vec{G}$ şi tensiunea $\vec{T}$ (reacţia firului); nu există „forţă centripetă".

Puteţi da un exemplu când corpurile nu pot fi privite ca puncte material ?

(R) În multe situaţii corpurile sunt asimilate, prin convenţie, cu puncte materiale şi se neglijează masa firelor sau a scripeţilor; similar pentru sateliţii artificiali ai Pământului. Printr-o convenţie tacită, punctele materiale se deplasează prin translaţii. Dar în cazul când corpurile se rotesc, se încălzesc, se magnetizează etc, convenţia nu mai funcţionează.

Să considerăm o sanie (asimilată cu un punct material) cu masa m, trasă cu forţa $\vec{F}$ aplicată printr-un fir (≡ sfoară sau sârmă inextensibilă) care face unghiul α cu orizontala. Să se determine forţa de frecare de alunecare (dintre sanie şi sol); figura 1'.4.

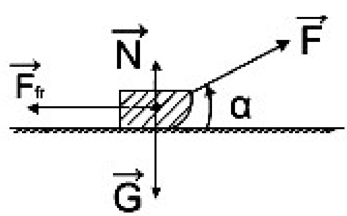


Fig. 1'.4

(R) Este vorba de frecare fără lubrifiant între suprafeţele de contact. Ca mărime $F_{fr} = k \cdot N$. Forţele aplicate saniei sunt: greutatea, $\vec{G}$, reacţia sprijinului, $\vec{N}$, forța de frecare, $\vec{F}_{fr}$ şi reacţia sforii, $\vec{F}$. Aceasta din urmă are componenta orizontală de mărime $F \cdot \cos\alpha$ şi pe cea verticală $F \cdot \sin\alpha$. Din condiţia de

echilibru, rezultă că $N+F \cdot \sin\alpha=G$, deci $N=G-F \cdot \sin\alpha$. Ca atare, $F_{fr}=k(G-F \cdot \sin\alpha)$. S-a presupus cunoscută valoarea lui k.

Notă: Mulţi elevi cred în mod greşit că $F_{fr}=k \cdot G$. Aceasta este adevărat doar pentru $\alpha=0$. Reţinem că pentru a găsi forţa de frecare de alunecare, trebuie găsită corect forţa de reacţie a sprijinului.

Ce ştiţi despre forţa de frecare de repaus?

(R) Să presupunem că avem un corp („punct material") aflat în repaus pe un plan orizontal şi că asupra lui acţionează o forţă orizontală $\vec{F}$ care tinde să deplaseze corpul. În acest caz, $N=G$, dar forţa de frecare nu este $k \cdot G$. Asupra corpului acţionează 4 forţe: $\vec{G}$, $\vec{N}$, $\vec{F}$ şi forţa de frecare de repaus $\vec{F}_{fr}$ (opusă mişcării). Dar $\vec{N}=-\vec{G}$ şi la echilibru, $\vec{F}_{fr}=-\vec{F}$ şi ca mărime, $F_{fr}=F$. Aşadar, forţa de frecare de repaus depinde de forţa care tinde să deplaseze corpul. Există o valoare a forţei de frecare $k \cdot N$ care, după ce este depăşită ($F \geq k \cdot N$), corpul se deplasează.

În cazul când un corp de masă m se află pe un plan înclinat cu unghiul α, forţa de frecare de repaus este $mg \cdot \sin\alpha$ (nu kG sau $kg\cos\alpha$); corpul se deplasează doar dacă $mg \cdot \sin\alpha \geq k \cdot N$, adică $mg \cdot \sin\alpha \geq kmg\cos\alpha$ sau $\mathrm{tg}\,\alpha \geq k$.

Foarte mulţi elevi enunţă legea I a lui Newton astfel: „Un corp aflat în repaus sau mişcare uniformă rămâne aşa până interacţionează cu alte corpuri". Ce lipseşte?

(R) În sisteme inerţiale, un corp aflat în repaus … etc., deoarece nu se poate vorbi de repaus sau mişcare decât în raport cu un reper sau un alt corp.

- Dacă împingem un automobil şi apoi ne oprim din împins, automobilul se opreşte. Este contrazisă legea I?

(R) Nu, din cauza forţei de frecare din partea solului.

- De ce noţiunile de forţă şi inerţie diferă între ele?

(R) Inerţia este o măsură a cantităţii de materie; forţa este o împingere sau o tragere.

- Dacă nu am pus centura de siguranţă şi automobilul este frânat brusc, capul ni se apleacă înainte. De ce?

(R) Din cauza inerţiei.

- Foarte mulţi elevi enunţă legea a II-a a lui Newton astfel: „Dacă F este forţa care acţionează asupra unui corp de masă *m*, atunci corpul capătă acceleraţia *a* şi *F=ma*”. Este un enunţ incomplet. Ce lipseşte ?

(R) Acceleraţia este o consecinţă a forţei şi ar fi fost mai bine de scris aşa $a = \alpha \cdot \frac{F}{m}$, unde α este un coeficient pozitiv care ţine cont de unităţile de mărime. Apoi în loc de „forţa care acţionează” trebuie spus „rezultanta forţelor care acţionează”. În fine, trebuie indicat caracterul vectorial al legii: $\vec{a} = \alpha \cdot \frac{\vec{F}}{m}$. În sistemul SI de unităţi, α=1.

Notă: Legile I şi II se aplică de obicei în sisteme inerţiale; ele se pot aplica şi în sisteme accelerate (lift, rachete, carusel), luând în seamă **forţele neinerţiale**.

- Se poate întinde o coardă strict orizontal?

(R) Nu, deoarece coarda are o anumită masă care dă naştere forței de greutate, verticale, ce nu poate fi echilibrată de forțe exclusiv orizontale.

- Ce tip de mişcare produce o rezultantă constantă de forţe?

(R) O mişcare cu acceleraţie constantă. Dacă rezultanta este nulă, repaus sau mişcare cu viteză constantă.

- Două corpuri cu masele M, m ($M>m$) sunt ridicate la aceeaşi înălţime deasupra Pământului şi apoi li se dă drumul simultan. Dacă rezistenţa aerului este constantă și aceeași pentru ambele corpuri, vor ajunge ele la sol simultan sau nu?

(R) Acceleraţia corpului cu masa M este $a=g–F/M$, unde F este rezistenţa aerului. Ca atare, corpul cu masa mai mare va cădea mai repede. Dacă $F=0$, corpurile vor cădea simultan (fapt dovedit de Galilei).

- Cabina unui lift se deplasează cu acceleraţia a. Un pasager scapă o carte din mână. Care va fi acceleraţia cărţii relativ la lift dacă liftul merge: a) în sus; b) în jos?

(R) Mărimea acceleraţiei cărţii relativ la lift depinde nu de sensul vitezei liftului, ci de cel al acceleraţiei. Dacă liftul merge în sus (respectiv în jos), atunci acceleraţia cărţii va fi $g+a$ (respectiv $g–a$); avem $a>0$ dacă liftul accelerează în sus și $a<0$ dacă liftul încetinește în sus.

- De ce acceleraţia unei rachete creşte chiar şi în cazul când rezultanta forţelor care acţionează asupra rachetei este nemodificată?

(R) Acceleraţia creşte deoarece masa rachetei scade prin eliminarea combustibilului.

- De ce nu observăm mişcarea Pământului în jurul Soarelui, deşi viteza acestuia este de 30 km/s?

(R) Acceleraţia centripetă legată de rotaţia Pământului în jurul Soarelui este mică în raport cu acceleraţia gravitaţională pe Pământ.

- Care este enunţul legii a treia a lui Newton?

(R) „Dacă un corp *A* exercită o forţă asupra corpului *B*, atunci *B* exercită o forţă de aceeaşi mărime (asupra lui *A*), dar în sens opus”.

- Un sistem tractor – remorcă se deplasează cu o anumită acceleraţie. Forţa cu care tractorul trage remorca are o reacţiune de aceeaşi mărime! Cum se explică faptul că sistemul se mişcă accelerat ?

(R) Sistemul trebuie completat cu încă un corp, anume Pământul. Există trei interacţiuni: tractorul$\leftrightarrow$Pământul; tractorul$\leftrightarrow$remorca şi remorca$\leftrightarrow$Pământul. Fie $\vec{F}$ forţa de tracţiune a motorului, $\vec{f}_1$ tensiunea barei de tracţiune (forța cu care tractorul acționează asupra remorcii) şi $\vec{f}$ forţa de frecare ce se opune mişcării (figura 1′.5). Acceleraţia sistemului format din tractor și remorcă este datorată rezultantei forţelor $\vec{F}$, -$\vec{f}_1$,

$\vec{f}_1$, $\vec{f}$, deci este $\vec{F}$ - $\vec{f}$. (Am neglijat greutăţile şi reacţiile sprijinului care se echilibrează).

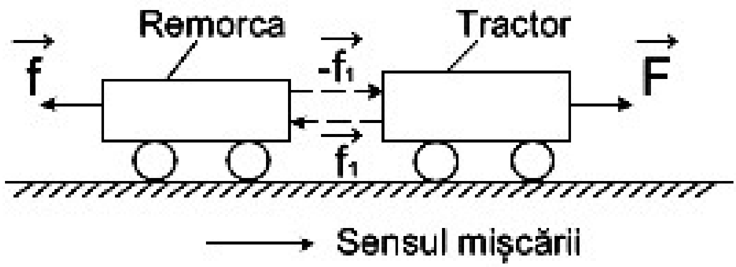


Fig. 1'.5

Notă: În situaţia menţionată, Pământul este un participant activ. Dacă tractorul şi remorca s-ar afla nu pe sol ci pe o pistă de gheaţă, nu ar avea loc mişcarea (lipsind interacţiile cu Pământul). Interacţiile interne (de exemplu, consum mărit de motorină), nu transmit accelerarea sistemului. Este celebră povestea baronului Münchausen care, aflându-se călare pe un cal împotmolit într-o mlaştină spera să se ridice cu cal cu tot trăgându-se în sus de păr! Nu avea nici o şansă...

- Dacă avem în mână un măr care cântăreşte 6 N, care este forţa care acţionează asupra mărului atunci când îl lăsăm să cadă ?

(R) Bineînțeles, 6 N.

- Considerăm următoarea problemă–tip cu mai multe corpuri (figura 1'.6), cu scripetele rotindu-se în sensul acelor de ceasornic. Fie m_1, m_2, m_3, masele celor trei corpuri.

Indicaţi forţele aplicate fiecărui corp, ţinând cont că acceleraţia este aceeaşi ca mărime şi sens; apoi să se determine

accelerația sistemului și tensiunile firelor de legătură între corpuri.

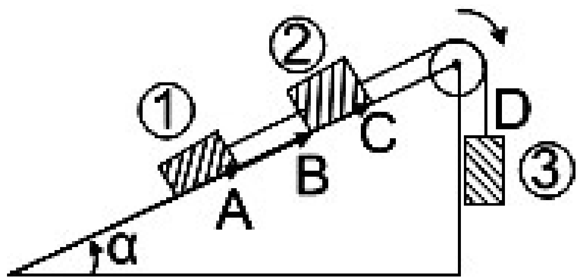


Fig. 1'.6

(R) Corpul ① interacționează cu Pământul (prin greutate≡ atracția gravitațională), cu planul înclinat și cu firul *AB*. Deci forțele care acționează asupra corpului ① sunt $\vec{G}_1 = m_1\vec{g}$, $\vec{N}_1$, $\vec{T}_1$, $\vec{F}'_{fr}$. Cu corpul ② interacționează Pământul și firele *AB*, *CD*; iar corpul ③ interacționează cu Pământul și cu firul *CD*. Cu notații sugestive, au loc relațiile:

pentru corpul ①: $T_1 - m_1 g\sin\alpha - F'_{fr} = m_1 a$, $N_1 - m_1 g\cos\alpha = 0$

pentru corpul ②: $T_2 - T_1 - F''_{fr} - m_2 g\sin\alpha = m_2 a$

și pentru ③: $m_3 g - T_2 = m_3 a$.

Dar $F'_{fr} = kN_1$, $F''_{fr} = kN_2$ și rezultă sistemul de ecuații:

$T_1 - m_1 g\sin\alpha - km_1 g\cos\alpha = m_1 a$,

$T_2 - T_1 - m_2 g\sin\alpha - km_2 g\cos\alpha = m_2 a$ și

$m_3 g - T_2 = m_3 a$ ($\pm T_1, \pm T_2$ fiind tensiunile din firele *AB*, *CD*).

Adunând aceste ecuații, rezultă:

$$a = \frac{m_3 - (m_1 + m_2)(\sin\alpha + k\cos\alpha)}{m_1 + m_2 + m_3}$$ şi apoi T_1 şi T_2.

- Se spune că traiectoria unui corp depinde nu numai de forţele care acţionează asupra corpului, dar şi de condiţiile iniţiale. Puteţi explica aceasta?

(R) Dacă ridicăm un corp şi apoi îl lăsăm să cadă fără viteză iniţială, atunci traiectoria lui va fi pe direcţia greutăţii; dar dacă îi aplicăm o viteză iniţială $\vec{v}_0$ orizontală şi nenulă, atunci corpul va „zbura" după o parabolă. În ambele cazuri, singura forţă care acţionează este greutatea sa. Diferă însă condiţiile iniţiale. Dar şi mai spectaculos, dacă aruncăm corpuri cu aceeaşi viteză iniţială ca mărime („speed"), dar sub unghiuri diferite faţă de orizontală, se obţin traiectorii diferite.

Condiţiile iniţiale reprezintă „prezentul", ca rezultat al acţiunii din trecut a forţelor. Se confirmă determinismul mecanicist al legăturii dintre trecut şi viitor prin prezent!

COMPLETARE: MIŞCAREA UNUI PROIECTIL

Aruncarea unei mingi, lansarea unui obuz, saltul unui animal etc. sunt exemple de „mişcări de proiectil". Neglijând rezistenţa aerului, singura forţă care acţionează asupra proiectilului este greutatea. Presupunem cunoscută poziţia iniţială *O* şi vectorul – viteză iniţială $\vec{v}_0$ şi determinăm poziţia şi viteza la orice moment *t*, aplicând ecuaţiile mişcării uniform accelerate.

Alegem un reper ortonormal xOy cu versorii $\vec{i},\vec{j}$, deci componentele scalare ale lui $\vec{v_0}$ sunt $v_0\cos\alpha, v_0\sin\alpha$, unde α este unghiul de înclinare a vectorului $\vec{v_0}$ cu orizontala (fig. 1′.7).

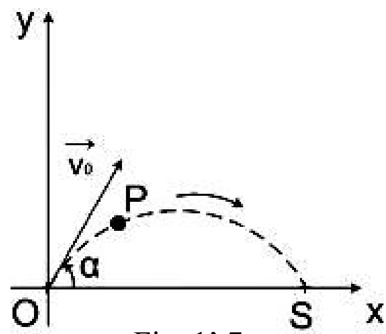


Fig. 1'.7

Acceleraţia este $\vec{a}=-g\vec{j}$. Pe orizontală mişcarea este uniformă cu viteza $v_0\cos\alpha$ şi pe verticală este uniform accelerată cu viteza iniţială $v_0\sin\alpha$ şi acceleraţia $-g$. Atunci, la fiecare moment t, proiectilul (punctual) P are coordonatele $x(t)=(v_0\cos\alpha)t$ şi $y(t)=(v_0\sin\alpha)t-\frac{1}{2}gt^2$. Eliminând t, rezultă ecuaţia traiectoriei: $y=(v_0\sin\alpha)\frac{x}{v_0\cos\alpha}-\frac{1}{2}g(\frac{x}{v_0\cos\alpha})^2$ şi recunoaştem ecuaţia unei parabole (trinom de gradul al doilea).

Punctul P de înălţime maximă este atins la momentul când $y(t)$ este maxim deci $y'(t)=0$.

Atunci $v_0\sin\alpha-gt=0$, deci $t=\frac{v_0}{g}\sin\alpha$.

Momentul când traiectoria proiectilului atinge solul este cel pentru care $y(t)=0$ şi rezultă $t' = \frac{2v_0}{g}\sin\alpha$, iar distanţa

$OS=x(t')=(v_0\cos\alpha)\frac{2v_0}{g}\sin\alpha = \frac{v_0^2}{g}\sin 2\alpha$; maximă dacă $\alpha = \frac{\pi}{4}$.

<u>Exemplu:</u> O minge („punctuală”) de tenis este servită orizontal de la 2 m deasupra solului, cu viteza iniţială de 25 m/s. Fileul are înălţimea de 80 cm şi se află la 10 m distanţă de cel care serveşte. Va trece sau nu fileul acea minge?

(<u>R</u>) Cu notaţiile anterioare, $\alpha=0$ şi $v_0=25$. Atunci la momentul t mingea va fi în punctul de coordonate $x=v_0t$, $y=2-\frac{1}{2}gt^2$. Aşadar,

$10=25t$, deci $t=0{,}4$s şi $y = 2 - \frac{1}{2}\cdot 9{,}81\cdot 0{,}4^2 \cong 1{,}22 > 0{,}80$

Deci, mingea trece peste fileu.

- <u>Un copil aruncă o minge în vagon, în sensul opus sensului de deplasare a trenului. Cum se va mişca mingea în raport cu: a) vagonul? b) terasamentul drumului?</u>

(<u>R</u>)

a) După o parabolă;

b) Dacă viteza mingii relativ la vagon este egală cu viteza trenului relativ la Pământ, atunci mingea se va mişca pe verticală (altminteri, pe o parabolă).

- <u>Ce vă mai amintiţi despre pârghii şi scripeţi</u> ?

(<u>R</u>) În situaţia din figură 1’.8 a), b), pârghia este în echilibru $\rightleftarrows F_1\cdot a = F_2\cdot b$.

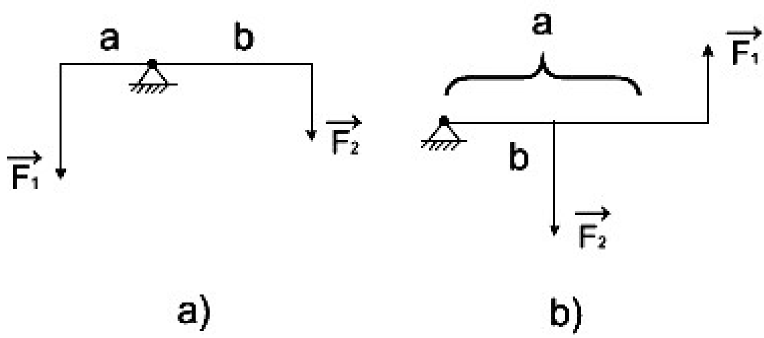


Fig. 1'.8

Un scripete fix (ca în figura 1'.9) permite doar schimbarea direcţiei forţei aplicate. În cazul unui scripete mobil (figura 1'.10), există un câştig de forţă (G=2T). În cazul unei „roţi de fântână" (fig. 1'.11), $F \cdot R = F' \cdot r$.

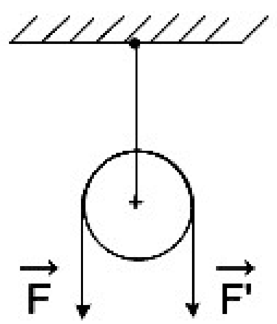


Fig. 1'.9

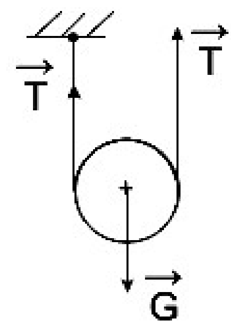


Fig. 1'.10

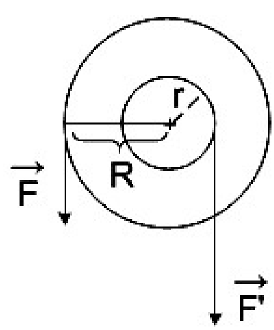


Fig. 1'.11

Ce ştiţi despre dilatarea barelor sau corpurilor şi legea lui Hooke?

(R) Fie un corp având lungimea l şi aria secţiunii S (fig. 1'.12). Datorită unei forţe externe $\vec{F}$, corpul are o alungire Δl şi legea lui Hooke este: $\Delta l = \frac{1}{E} \cdot \frac{l \cdot F}{S}$, unde E este o constantă de material, măsurată în N/m^2 şi numită modulul lui Young. Raportul $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ se numeşte efort longitudinal şi $p = \frac{F}{S}$ este tensiunea (presiunea); aşadar, $p = E \cdot \frac{\Delta l}{l} = E \cdot \varepsilon$.

Pentru aluminiu, $E \cong 6{,}5 \times 10^{10}$ N/m^2; pentru oţel, $E \cong 2 \times 10^{10}$ N/m^2 şi pentru beton, $E \cong 2{,}5 \times 10^{10}$ N/m^2.

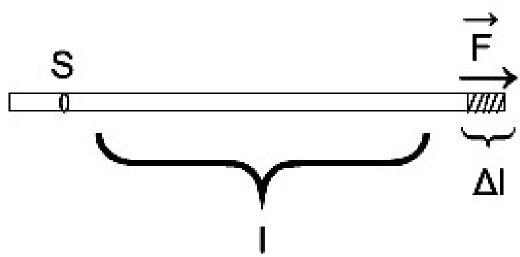


Fig. 1'.12

Notă: Dacă un solid este supus unei presiuni din toate direcţiile, volumul lui V descreşte cu ΔV. Are loc o formulă de tipul $\Delta V = -V \cdot \beta \cdot \Delta p$ unde β este modulul de elasticitate.

Ce este impulsul unui obiect? Vă amintiţi legea conservării impulsului?

(R) Impulsul unui obiect având masa m şi viteza v este produsul mv. Este măsurat în $N \cdot s$ şi unii autori îl mai numesc cantitate

de mişcare. Dacă se ciocnesc (elastic) două obiecte cu masele m_1, m_2 şi vitezele vectoriale $\vec{v}_1$, $\vec{v}_2$, atunci după ciocnire ele vor căpăta alte viteze $\vec{w}_1$, $\vec{w}_2$, dar <u>impulsurile lor totale se conservă</u>: $m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{w}_1 + m_2\vec{w}_2$.

<u>Exemplu:</u> Fie m_1=8 kg, $\vec{v}_1$=-0,5$\vec{i}$+4$\vec{j}$, $\vec{v}_2$=0,8$\vec{i}$+1,4$\vec{j}$. Să se afle m_2 dacă $\vec{w}_1$=0,5$\vec{i}$+2$\vec{j}$ şi $\vec{w}_2$=3$\vec{j}$.

(<u>R</u>) 8(-0,5$\vec{i}$+4$\vec{j}$)+m_2(0,8$\vec{i}$+1,4$\vec{j}$)=8(0,5$\vec{i}$+2$\vec{j}$)+$m_2\cdot 3\vec{j}$ şi rezultă m_2=10 kg.

- <u>Care sunt forţele care acţionează asupra unui satelit artificial al Pământului</u>? (Se neglijează rezistenţa aerului şi atracţia Lunii sau Soarelui).

(<u>R</u>) De obicei, elevii răspund: atracţia Pământului (≡gravitaţia) şi... forţa centrifugă, care ar ţine satelitul pe orbită. Dar atunci, conform legii a III-a a lui Newton, acestea s-ar anihila reciproc şi satelitul s-ar mişca rectiliniu şi uniform! Răspunsul corect este că satelitului i se aplică forţa gravitaţiei. (Mişcarea corpurilor sub acţiunea gravitaţiei se numeşte <u>cădere</u>.)

- <u>Cum interpretaţi formula</u> $K\cdot\frac{m\cdot M}{r^2}=\frac{mv^2}{r}$ (unde m=masa unui satelit, M=masa Pământului, r=raza orbitei considerate circulară, cu centrul în centrul Pămânului şi K=constanta gravitaţională)?

(<u>R</u>) Este expresia legii a II-a a lui Newton $F=ma$, unde $F=K\cdot\frac{m\cdot M}{r^2}$ şi $a=\frac{mv^2}{r}$ este acceleraţia centripetă. Ceea ce se

numeşte „forţa centripetă” este forţa de atracţie a satelitului de către Pământ, deci nu este o forţă nouă. Se poate asimila $\frac{mv^2}{r}$ rezultantei forţelor care transmit satelitului acceleraţia centripetă.

Notă: Considerând doar Pământul şi satelitul, forţa de atracţie exercitată de Pământ asupra satelitului poate fi numită centripetă, iar forţa de atracţie a Pământului de către satelit – forţă centrifugă. Ca figură de stil şi atât...

- De ce nu se atrag obiectele din camera Dv.?

(R) Se atrag, dar forţa de atracţie este mult mai mică decât frecarea.

- Cum s-ar mişca Luna dacă: a) ar dispărea atracţia dintre Lună şi Pământ; b) s-ar opri mişcarea Lunii pe orbită?

(R) a) S-ar mişca pe tangentă la orbită; b) ar cădea pe Pământ.

- Analizaţi pendulul conic din figura 1’.13, unde bila *B* descrie un cerc într-un plan perpendicular pe *SO*. Ce forţe acţionează asupra bilei şi cum se interpretează ?

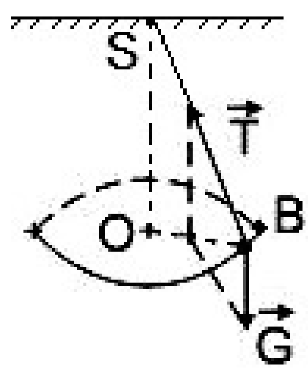


Fig. 1’.13

(R) Forţele cerute sunt greutatea $\vec{G}$ şi reacţia firului (≡tensiunea), $\vec{T}$. Suma lor $\vec{G}+\vec{T}$, obţinută cu regula paralelogramului, are direcţia şi sensul $\overrightarrow{BO}$ al acceleraţiei centripete. Printr-o relicvă de limbaj, această sumă este numită „forţa centripetă”. Forţa $\vec{G}$ este consecinţa interacţiunii bilă↔Pământ, iar $\vec{T}$ este consecinţa interacţiunii bilă↔fir.

Opusele $\vec{G}_1$=-$\vec{G}$ și $\vec{T}_1$=-$\vec{T}$ sunt forţe autentice, dar suma lor, $\vec{G}_1+\vec{T}_1$, numită de unii „forţă centrifugă”, nu are sens fizic, deoarece nu este aplicată vreunui corp (să tragă de un fir mai merge, dar ce înseamnă să împingi un fir?!).

- Cum explicaţi faptul că la Ecuator, un corp cântăreşte mai puţin ca la Polul Nord (sau Sud)? Acest fapt este valabil pentru orice planetă.

(R) Greutatea unui corp este forţa de atracţie a corpului de către Pământ ($K \cdot \frac{m \cdot M}{r^2}$) iar scăderea greutăţii la Ecuator este legată de turtirea Pământului la poli. De obicei, prin greutatea măsurată cu ajutorul cântarelor, se înţelege forţa cu care corpul presează Pământul. La Ecuator, corpul presează pe un reazem orizontal cu mai puţină forţă decât la poli. Fie G_1 şi N_1 forţa de atracţie şi forţa de reacţie a sprijinului la poli şi G_2, N_2 − la Ecuator. La pol, corpul este în repaus, iar la Ecuator se mişcă pe un cerc $\Rightarrow G_1 - N_1 = 0$, $G_2 - N_2 = m \cdot a_c$ unde a_c este acceleraţia centripetă$\Rightarrow N_1 = G_1$ și $N_2 = G_2 - m \cdot a_c$. Deoarece $G_2 < G_1$

datorită turtirii..., rezultă că $N_2 < N_1$. Efectul rotirii Pământului este $m \cdot a_c$.

- Cum trebuie interpretată expresia: „Corpul cutare şi-a pierdut jumătate din greutate”?

(R) Forţa de atracţie nu se schimbă, ci numai reacţia sprijinului se micşorează de două ori. De exemplu, dacă sub un corp aflat pe Pământ săpăm o groapă adâncă, corpul va cădea în groapă, odată cu înlăturarea sprijinului său, putându-se ajunge la imponderabilitate.

- Ce înseamnă „starea de imponderabilitate”?

(R) Un corp devine imponderabil dacă asupra lui nu mai acţionează nici o altă forţă în afară de forţa de atracţie. Starea de imponderabilitate este starea de cădere a corpului. Se spune uneori greşit că „forţa de atracţie a satelitului de către Pământ este echilibrată de forţa centrifugă, astfel încât rezultanta forţelor aplicate satelitului ar fi nulă şi aceasta ar fi imponderabilitatea”. De fapt, asupra satelitului nu acţionează nici o forţă centrifugă! Dacă am accepta pseudo-definiţia anterioară, ar însemna că un corp aflat în repaus pe plan orizontal este imponderabil, deoarece forţa de greutate este echilibrată de reacţia reazemului.

Notă: Reţinem că în cazul imponderabilităţii, reacţia reazemului este nulă. Mişcarea unui corp sub acţiunea gravitaţiei este căderea acelui corp, iar imponderabilitatea este tocmai starea de cădere. (De exemplu, căderea unui lift în puţul unei mine sau mişcarea uniformă a unui satelit artificial în jurul Pământului).

- Pasagerii unei nave cosmice îi cer căpitanului să creeze starea de imponderabilitate pe navă. Ce trebuie să facă acel căpitan?

(R) Să oprească motoarele.

- Putem să batem un cui cu ciocanul, în stare de imponderabilitate?

(R) Da, deoarece interacţiunea ciocanului cu materialul unde intră cuiul va fi determinată de forţele inerţiale şi nu de cele gravitaţionale.

- Vă mai amintiţi noţiunea de lucru mecanic? În ce se măsoară?

(R) Este vorba de o noţiune fizică.

Lucrul unei forţe $\vec{F}$ în lungul unui vector – deplasare $\vec{s}$ este produsul scalar $\mathfrak{L} = \vec{F} \cdot \vec{s} = F \cdot s \cdot \cos\alpha$, unde $\alpha = \measuredangle(\vec{F}, \vec{s})$. Lucrul este negativ dacă $\frac{\pi}{2} < \alpha \le \pi$. Lucrul mecanic se măsoară în Jouli [1 J=1 kgm^2/s^2].

- Daţi o definiţie a energiei unui sistem.

(R) Capacitatea sistemului de a efectua lucru mecanic, prin trecerea de la o stare la alta; energia este o funcţie de stare.

- În ce condiţii, energia se conservă?

(R) Energia totală a unui sistem izolat se conservă. Chiar după explozia unei supernove, energia ei totală se conservă.

- Ce este energia cinetică?

(R) Este cea mai evidentă formă de energie ($E_c = \frac{1}{2}mv^2$), măsurată în J. Ea nu este o mărime vectorială (având aceeaşi valoare în orice direcţie) şi $E_c \geq 0$.

- Se poate întâmpla ca o aceeaşi forţă $\vec{F}$, acţionând asupra aceluiaşi corp şi în acelaşi interval de timp *T*, să poată efectua lucruri mecanice diferite?

(R) Da, deşi pare curios… Să presupunem că asupra unui corp de masă *m* aflat pe un plan orizontal acţionează în cursul unui interval de timp *T* o forţă orizontală. Neglijând frecarea, corpul este accelerat şi capătă acceleraţia $a = \frac{F}{m}$. În cazul în care corpul are viteza iniţială $\vec{v}_0$, având aceeaşi direcţie şi acelaşi sens cu $\vec{F}$, el ar parcurge drumul $s = v_0T + \frac{aT^2}{2} \Rightarrow$ lucrul este $\mathfrak{L} = F \cdot (v_0T + \frac{aT^2}{2})$, deci $\mathfrak{L}$ depinde de v_0. În cazul în care corpul ar fi fost în repaus până să înceapă să acţioneze forţa $\vec{F}$ am fi avut $v_0=0$ şi $\mathfrak{L} = F \cdot \frac{aT^2}{2}$. Aşadar, $\mathfrak{L}$ depinde de v_0 ...

- Un corp de masă *m* alunecă în jos pe un plan înclinat, având coeficientul de frecare *k*. Asupra corpului acţionează o forţă orizontală $\vec{F}$, ca în figura 1'.14. Să se calculeze lucrul forţelor care acţionează asupra corpului la deplasarea acestuia între punctele *A* şi *B* ($AB=s$). Ce se observă în mod semnificativ ?

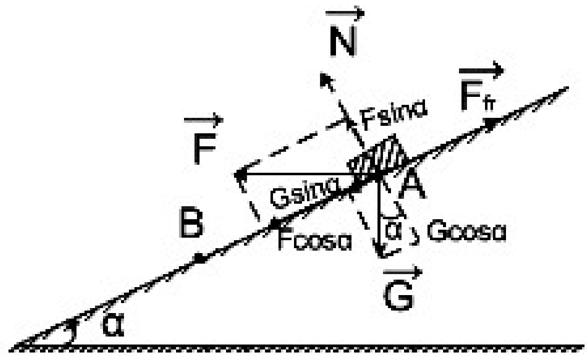


Fig. 1'.14

(R) Forţele ce acţionează asupra corpului sunt: $\vec{F}$, $\vec{G}$=greutatea, reacţia $\vec{N}$ a reazemului şi forţa de frecare $\vec{F}_{fr}$ (care se opune mişcării). Fiecare forţă lucrează pentru ea însăşi (deci nu trebuie calculat lucrul rezultantei). Lucrul forţei $\vec{F}$ este produsul scalar $\vec{F}\cdot\vec{s} = F\cdot s\cdot\cos\alpha = \mathfrak{L}_1$ și este independent de m şi k. Lucrul greutăţii este $\mathfrak{L}_2 = \vec{G}\cdot\overrightarrow{AB} = mg\cdot s\cdot\cos(90^\circ - \alpha) = mgs\cdot\sin\alpha$. Lucrul lui $\vec{N}$ este nul, deoarece $\vec{N}\perp\vec{s}$. În fine, lucrul mecanic al forţei de frecare este $\mathfrak{L}_3 = k(mg\cdot\cos\alpha - F\cdot\sin\alpha)\cdot s\cdot\cos\pi$, cu $\cos\pi = -1$ şi acesta este negativ (dacă $G<kF$).

- Ce este energia potenţială ?

(R) Nu există o definiţie unitară. Vorbim de energia potenţială gravitaţională a unui obiect aflat la înălţimea h, $E_p=mgh$, sau de energia potenţială elastică a unui resort.

- În mod evident, energia cinetică a unei bile aflate în cădere liberă nu se conservă. Este astfel contrazisă legea conservării energiei ?

(R) Nu, deoarece legea conservării energiei se referă la energia totală.

Ce sens (semnificaţie) se acordă unui lucru mecanic negativ?

(R) Se ştie că variaţia energiei cinetice a unui corp între două stări este egală cu lucrul rezultantei forţelor aplicate corpului. Forţa care realizează un lucru negativ micşorează această variaţie (adică modulul lucrului acelei forţe nu se adaugă energiei corpului ci se scade din aceasta !) În mod concret, să ne referim la întrebarea precedentă (avem în vedere tot fig. 1'.14).

Conform teoremei de variaţie a energiei cinetice, avem:

$$\mathfrak{L}_1 + \mathfrak{L}_2 + \mathfrak{L}_3 = \frac{mv_B^2}{2} - \frac{mv_A^2}{2}.$$

Dar $\mathfrak{L}_2 = mgs \cdot \sin\alpha$ şi $s \cdot \sin\alpha = h_A - h_B$, unde h_A, h_B sunt distanţele de la *A* şi de la *B* la sol.

De aici rezultă $\mathfrak{L}_2 = U_A - U_B$, unde U_A, U_B =energiile potenţiale ale corpului în poziţia *A,* respectiv în *B.*

Așadar, $\mathfrak{L}_1 + U_A - U_B + \mathfrak{L}_3 = \frac{mv_B^2}{2} - \frac{mv_A^2}{2}$ și rezultă în final $\frac{mv_A^2}{2} + \mathfrak{L}_1 + U_A + \mathfrak{L}_3 = \frac{mv_B^2}{2} + U_B$.

În fine, se ştie că frecarea de alunecare duce la căldură şi modulul $|\mathfrak{L}_3|$ este egal cu cantitatea de căldură *Q* transferată corpului, deci cum $\mathfrak{L}_3$<0 rezultă că -$\mathfrak{L}_3$=*Q*. Notând cu E_A și E_B energiile totale (cinetică+potenţială) ale corpului în punctele *A* şi *B*, relaţia anterioară devine $E_A + \mathfrak{L}_1$ (lucrul forței *F*)=E_B+*Q.*

Aceasta este de fapt, într-un caz particular, legea de conservare a energiei („principiul I al termodinamicii”).

Ce este puterea ?

(R) De obicei, elevii răspund aşa: „Puterea este mărimea fizică reprezentând câtul dintre lucru mecanic şi timp”. Această formulare este similară cu: „viteza este câtul dintre drumul parcurs şi durata deplasării” (ceea ce presupune că viteza este constantă!). Răspunsul elevilor ar fi corect dacă puterea ar fi constantă în timp.

Corect este să notăm cu $\mathfrak{L}(t)$ lucrul efectuat pe un interval de timp de durată t şi atunci raportul $\dfrac{\mathfrak{L}(t+\Delta t)-\mathfrak{L}(t)}{\Delta t}$ ar fi puterea medie pe intervalul de timp dintre momentele t, $t+\Delta t$; puterea instantanee la momentul t este $P(t)=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\mathfrak{L}(t+\Delta t)-\mathfrak{L}(t)}{\Delta t}$, adică $P(t)=\mathfrak{L}'(t)$, derivata ...

Formula $P=\dfrac{\mathfrak{L}}{t}$ se poate aplica şi dacă puterea nu variază cu timpul sau, ca putere medie.

Ce înseamnă că puterea este constantă în timp?

(R) Răspunsul tipic este că „forţa cu care se realizează lucrul este constantă”. Greşit… Să presupunem că forţa $\vec{F}$ este constantă şi deplasarea (rectilinie) se face în acelaşi sens cu $\vec{F}$. Atunci $P(t)=(F\cdot s(t))'=F\cdot s'(t)=F\cdot v(t)$. Se observă că $P(t)$ este constantă doar dacă şi viteza corpului este constantă. Formula $P(t)=F\cdot v(t)$ are loc doar dacă forţa F este constantă.

Notă: În general:

$$\mathfrak{L}(t) = \vec{F}(t) \cdot \vec{s}(t) \text{ și } P(t) = \mathfrak{L}'(t) = \vec{F}'(t) \cdot \vec{s}(t) + \vec{F}(t) \cdot \vec{v}(t).$$

Care din următoarele unităţi sunt unităţi de putere: J, Nm, kWh?

(R) Nici una.

Pe un plan înclinat, alunecă de la înălţimea *h*, fără viteză iniţială şi fără frecare, un corp. Să se calculeze viteza corpului la capătul drumului, prin două metode. Ce se observă?

(R) Fie α unghiul de înclinare a planului (figura 1'.15). Asupra corpului acţionează „greutatea" $\vec{G}$ ($G=mg$) şi reacţia sprijinului $\vec{N}$ ($N=G \cos \alpha$). Descompunem $\vec{G}$ în lungul planului şi perpendicular pe plan. Aplicând legea a II–a a dinamicii, $ma=G \sin\alpha$ (unde a=acceleraţia corpului), rezultă $a=g \sin\alpha$. Apoi lungimea drumului este $s = \frac{h}{\sin\alpha}$ şi viteza v a corpului satisface relaţia:

$$v^2 = 2as \Rightarrow v^2 = 2gs \cdot \sin\alpha \frac{h}{\sin\alpha} \Rightarrow v^2 = 2gh.$$

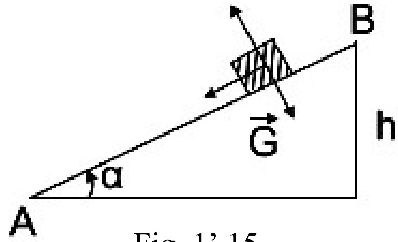


Fig. 1'.15

Destul de alambicat ...

Rezultatul se obţine imediat, aplicând „legea conservării energiei totale". În punctul B, energia potenţială este mgh, iar energia cinetică este 0; în punctul A, energia potenţială este 0, iar energia cinetică $\frac{mv^2}{2}$, rezultă $\frac{mv^2}{2}=mgh$ și apoi $v^2=2gh$.

Se observă că v depinde numai de h (nu de v_0 şi α!).

- Se cunoaşte formula $v^2=2as$ pentru viteza finală a unui corp, în funcţie de acceleraţie şi drum parcurs, în cazul când viteza iniţială este nulă. Cum arată formula în cazul când corpul are viteza iniţială v_0?

(R) Aplicăm relaţiile cinematice $v=v_0+at,\ s=v_0t+\frac{at^2}{2}$ şi eliminăm t ($t=\frac{v-v_0}{a}$ şi înlocuim în s ...). Rezultă $v^2=v_0^2+2as$.

Dar se poate aplica teorema de variaţie a energiei cinetice: $\frac{mv^2}{2}-\frac{mv_0^2}{2}=m\cdot a\cdot s$ (unde mas este lucrul forţei care imprimă corpului acceleraţia a).

- Aplicarea legilor de conservare (energie, impuls etc.) poate avea şi capcane ... Să considerăm următoarea situaţie: Presupunem că un corp se mişcă uniform pe un cerc în plan orizontal, fără vreo frecare. Rezultanta greutăţii $\overrightarrow{AC}$ şi tensiunii $\overrightarrow{BA}$ în fir (reacţia firului) este $\overrightarrow{BC}$, orientată spre centrul cercului (figura 1'.16). Care este lucrul $\mathfrak{L}$ efectuat de corpul B după o rotire?

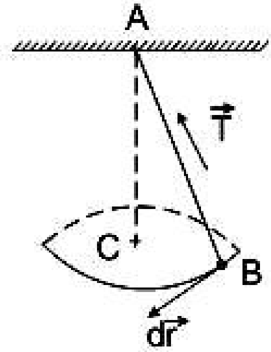


Fig. 1'.16

(R) Unii elevi ar răspunde: $\mathfrak{L} = m \cdot \frac{v^2}{R} \cdot 2\pi R = 2\pi m v^2$, unde R=raza cercului şi v viteza corpului. Acest răspuns este greşit. De fapt $\mathfrak{L}$=0 (căci $\overrightarrow{BC} \perp d\vec{r}$).

Notă: În general, energia transmisă unui corp se poate distribui fie către creşterea energiei cinetice sau potenţiale a corpului, fie pentru lucrul asupra altor corpuri sau în căldură (din cauza frecărilor). Corpul se mişcă cu viteză constantă ca mărime, deci energia sa cinetică nu se modifică; apoi corpul se mişcă în plan orizontal, deci nu se modifică nici energia lui potenţială. S-au exclus şi frecările şi nu există alte corpuri. Conform legii conservării energiei totale, rezultă că „forţa centripetă, de mărime ma_c nu efectuează lucru mecanic! De fapt în „formula" scrisă de elevii evocaţi lipseşte cosinusul unghiului dintre $\overrightarrow{BC}$ şi vectorul – deplasare (cosinusul este nul).

- Să considerăm două recipiente egale, cu lichid, care comunică, fiind legate printr-o conductă cu robinet (r), ca în figura 1'.17:

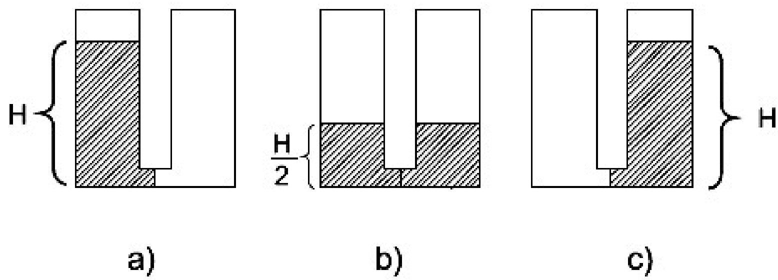


Fig. 1'.17

La început, lichidul se află în recipientul stâng a) şi nivelul are înălţimea *H*. Apoi deschidem robinetul şi lichidul curge în recipientul drept, lichidul având nivele egale în ambele recipiente, de înălţime H/2; b) Dorim să calculăm energia potenţială a lichidului în stările iniţială şi finală.

(R) În starea iniţială a) energia potenţială este $G\cdot\frac{H}{2}$, iar în starea b): $\frac{G}{2}\cdot\frac{H}{4}+\frac{G}{2}\cdot\frac{H}{4}=\frac{GH}{4}$. Deci de două ori mai mică?

Unde s-a dus jumătate de energie?

Răspunsul este: sau trece în căldură prin frecare sau în energia cinetică a lichidului. Dar în starea b) lichidul este în repaus, deci nu are energie cinetică. Așadar, rămâne căldura, frecarea între straturi de lichid şi frecarea de pereţi. Iar temperatura lichidului în starea b) creşte.

Dacă între lichid şi pereţii conductei nu există interacţiuni şi toate straturile au aceeaşi viteză, atunci apare o energie cinetică a lichidului şi acesta trece în vasul drept, până apare starea c) unde energia potenţială a lichidului este aceeaşi

ca în starea a). Apoi lichidul începe să curgă invers, din dreapta în stânga, apărând oscilaţii ale nivelului lichidului în vasele comunicante (de remarcat analogia cu pendulul, putem să numim acest dispozitiv pendulul hidrodinamic). Aceste oscilaţii se amortizează în timp, dacă există frecare.

- Ştiţi legea fundamentală a lui Pascal?

(R) "Presiunea aplicată asupra unui lichid, în orice punct, se transmite integral lichidului, în toate direcţiile, spre perete sau spre fundul vasului unde se află lichidul."

- Depinde sau nu forţa presiunii unui lichid asupra fundului unui vas de forma vasului?

(R) Nu; este egală cu greutatea coloanei verticale având baza pe fund şi înălţimea cât cea a coloanei de lichid.

- Să considerăm o calotă de sticlă având un orificiu în polul calotei (fig. 1'.18). Răsturnăm calota cu orificiul în sus şi o punem pe o tablă de sticlă fest (cu marginile calotei aproape „lipite" pe suprafaţa tablei). Prin orificiu umplem calota cu apă până sus, apoi închidem orificiul fest cu un dop. Dacă ridicăm calota, odată cu ea se ridică şi sticla ca şi când ar fi lipită şi apa nu curge ! Dar dacă se scoate dopul şi ridicăm calota, sticla rămâne pe loc şi apa curge. Cum explicaţi acest fenomen?

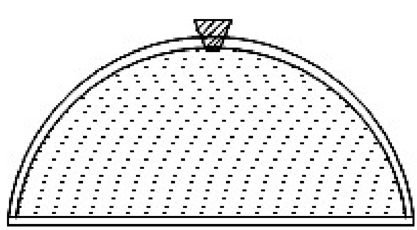


Fig. 1'.18

(R) Cu dopul pus, pe tabla de sticlă acţionează de sus presiunea dată de greutatea apei de sub calotă şi, de jos, presiunea atmosferică p_a. Aceasta din urmă este sensibil mai mare (≅1 bar) decât prima şi sticla pare „lipită” de calotă. Iar dacă dopul este scos, atunci presiunea atmosferică p_a de la suprafaţa apei, în orificiu, se transmite, conform legii lui Pascal, apei de pe suprafaţa interioară a sticlei; asupra tablei vor acţiona presiunea dată de greutatea apei plus p_a, iar de jos numai p_a.

Deşi orificiul din capacul calotei este „mic”, iar aria tablei de sticlă este „mare”, iată că presiunea p_a pe o suprafaţă mică de apă (prin orificiu) se transmite la întreaga suprafaţă mare a tablei, ca şi pe suprafaţa peretelui calotei.

Să considerăm un bidon mare, obișnuit, umplut până sus cu apă, ca în figura 1’.19. a):

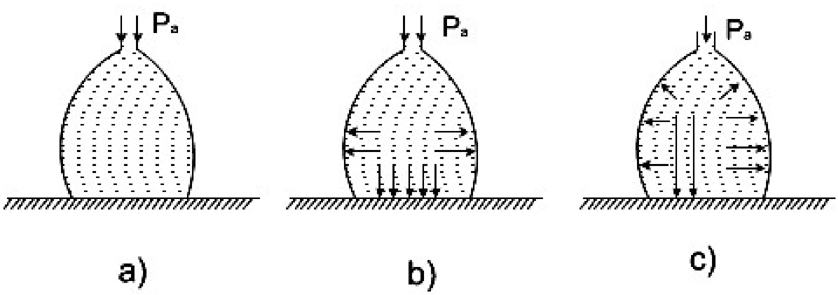


Fig. 1’.19

La suprafaţa apei din „gâtul” bidonului acţionează p_a. Puteţi indica (prin săgeți) presiunea în peretele şi pe fundul bidonului?

(R) Mulţi elevi ar răspunde incorect că, aplicând legea lui Pascal, presiunea se transmite la toate punctele peretelui şi pe

fund, pe normală (adică perpendicular pe frontieră) (fig.1'.19.b), așadar presiunile ar fi egale peste tot (săgeți egale).

Nu este corect, deoarece presiunea pe pereţi creşte cu adâncimea; la adâncimea h se adaugă presiunea hidrostatică dată de greutatea apei, ρgh. Deci presiunea este $p_a+\rho gh$ şi distribuţia presiunilor arată ca în figura 1'.19.c. Dacă măsurăm lungimile „săgeților", presiunea pe fund poate fi dublă faţă de p_a. De exemplu, presiunea de pe fundul unei coloane de apă cu înălţimea de 10m este

$1000 kg/m^3 \times 9,81 m/s^2 \times 10\ m \cong 98100 kg/ms^2 = 98100\ Pa \cong 1 bar = p_a$

(căci $1\ Pa = 1\ N/m^2 = 1\dfrac{kg \cdot m/s^2}{m^2} = 1 kg/m \cdot s^2$; dacă bidonul ar avea 10m înălţime, atunci presiunea la fundul lui ar fi $2p_a$.

Legea lui Arhimede are loc sau nu pentru gaze?

(R) Da, are loc şi pentru corpuri „scufundate" în gaze, asupra cărora acţionează o forţă de împingere egală cu greutatea volumului de gaz dislocuit.

Mai ştiţi condiţia de plutire a corpurilor?

(R) Forţa de greutate trebuie să fie echilibrată de forţa ascensională (arhimedică). Un corp se scufundă complet într-un lichid dacă $G>F_a$; pentru un corp omogen, aceasta revine la $\rho_{corp} > \rho_{lichid}$. Dacă $G=F_a$ corpul este în suspensie, iar dacă $F_a>G$, adică $\rho_{corp} < \rho_{lichid}$ corpul scufundat în lichid urcă la suprafaţă.

Un corp care pluteşte la suprafaţa lichidului este parţial scufundat în lichid (scufundat până ce greutatea lui este

egalalată de greutatea volumului de lichid dislocuit). De exemplu, un aisberg se scufundă cu circa 9/10 din volumul său.

- Într-un vas cu apă pluteşte în poziţie verticală o grindă. Se modifică sau nu nivelul apei în vas dacă grinda trece în poziţie orizontală?

(R) Nu, deoarece se dislocuieşte aceeaşi cantitate de apă.

- O bilă de oţel pluteşte în mercur. Se modifică sau nu adâncimea scufundării bilei în mercur dacă de sus se adaugă apă?

(R) Se micşorează adâncimea scufundării, deoarece creşte forţa ascensională a apei dislocuite de bilă.

- Un cub de lemn se află pe fundul unui vas uscat. Va pluti acel cub dacă vasul se umple cu apă?

(R) Da, dacă apa pătrunde sub cub şi nu, în caz contrar.

- Ştiţi că presiunea atmosferică şi circulaţia sanguină au fost descoperite după anul 1600?

(R) Pompele erau cunoscute din Antichitate, dar nu şi pompele cu sucţiune. Galilei a arătat că nu se putea ridica apa la mai mult de 10 m; Toricelli şi Pascal au evidențiat presiunea atmosferică şi principiul vaselor comunicante. Acest principiu explică şi circulaţia sanguină; este impresionant că atâţia medici, măcelari, călăi etc., au aflat aşa de târziu explicaţia unui astfel de fenomen.

- Într-un vas cu apă pluteşte o bucată de gheaţă. Ce se va întâmpla cu nivelul apei din vas după ce gheaţa se topeşte?

(R) Poziţia nivelului nu se modifică, deoarece forţa de greutate care acţionează asupra gheţii este echilibrată de forţa ascensională, deci egală cu greutatea apei dislocuite de gheaţă. Când gheaţa se topeşte, ea se transformă în apă, exact volumul pe care l-a dislocuit.

- De ce „cântă” conductele de apă?

(R) Nu este plăcut să le auzi la ore târzii… Ca să scăpăm de zgomotele neplăcute, trebuie să înţelegem cauza lor. Începem cu deschiderea robinetului. Sursele de zgomot pot fi de la diverse corpuri care vibrează cu frecvenţa apropiată de cea a sunetului: vibraţii în sistemul conductă/robinet, garnitura etc.

- Sunt valabile legea lui Pascal şi a lui Arhimede într-o navă cosmică, în stare de imponderabilitate?

(R) Legea lui Pascal, da. Dar legea lui Arhimede, nu. Iată şi de ce. Forţele de presiune a lichidului pe un corp scufundat în lichid creează o forţă ascensională doar dacă se creează o diferenţă de presiune pe baza superioară şi inferioară ale corpului. Dar în starea de imponderabilitate nu există „sus” sau „jos” şi ca atare, asupra unui corp din interiorul unui fluid nu acţionează forţa ascensională. Ca atare, nu are loc legea lui Arhimede.

Notă: Să considerăm mişcarea unui lift cu acceleraţia $\vec{a}$, orientată în sens invers acceleraţiei $\vec{g}$ a căderii libere. Presupunem că $a<g$. Asupra unui corp scufundat într-un fluid (în cazul nostru aerul) va acţiona o forţă ascensională $F = \rho_0 (g-a)\cdot V$, iar greutatea lichidului din volumul corpului

este $\rho_0(g-a)\cdot V$. Aşadar, forţa ascensională este egală cu greutatea fluidului dislocuit de corp şi astfel are loc legea lui Arhimede. S-ar putea crede că mărind progresiv *a* (*a*→*g*), legea ar rămâne valabilă şi la limită, pentru *a*=*g*, adică în starea de imponderabilitate. Dar nu este aşa...; între imponderabilitate şi „ponderabilitate infinitezimală” există o diferenţă principială. Pentru *a*=*g*, dispare distincţia dintre „sus” şi „jos”. Dacă diferenţa *g*–*a* este oricât de mică (dar nenulă!), atunci există o orientare evidenţiabilă fizic „de jos în sus”, prin care apare forţa ascensională. Dar pentru *a*=*g*, această opţiune dispare şi toate direcţiile sunt fizic echivalente.

Puteţi prezenta în mod sugestiv poziţiile de echilibru ale unei bile?

(R) Dacă forţele care acţionează asupra unui corp solid au rezultanta egală cu zero, atunci corpul se află fie în repaus, fie în mişcare rectilinie şi uniformă ($m\vec{a}=\vec{R}$ şi $\vec{R}=0$ implică $\vec{a}=0$).

Sugestiv, se poate considera figura 1′.20. În poziţia *B* echilibrul este stabil (căci după o „mică” intervenţie, bila revine în *B*); în poziţia *A,* echilibrul este instabil, iar în *C*, echilibrul este indiferent.

În cazul echilibrului stabil (respectiv, indiferent), corpul are energia potenţială minimă (respectiv, local constantă).

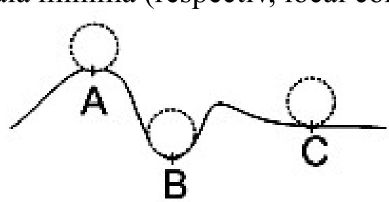


Fig. 1’.20

Fie un corp suspendat în punctul S şi având centrul de greutate K. Echilibrul corpului este stabil (respectiv instabil) dacă S este situat deasupra lui K (respectiv dedesubt) şi este indiferent dacă S coincide cu K.

Este corectă afirmaţia că stabilitatea unui corp sprijinit pe o suprafaţă plană de sprijin (π) depinde de distanţa de la centrul de greutate la (π) şi de aria suprafeţei de sprijin?

(R) Nu. Să considerăm un paralelipiped dreptunghic cu baza pătrat şi un cilindru circular drept, aşezate pe un plan orizontal (π), din acelaşi material, având aceleaşi arii ale bazelor, egale cu S şi aceeaşi înălţime H (figura 1'.21).

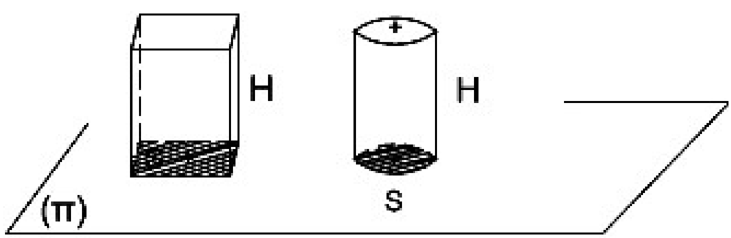


Fig. 1'.21

Aşadar, centrele lor de greutate K se află la aceeaşi distanţă de planul (π). Măsura stabilităţii unei stări de echilibru o constituie energia consumată pentru a scoate corpul din echilibrul respectiv; energia este produsul dintre greutate şi înălţimea la care trebuie ridicat centrul de greutate al corpului, pentru ca el să nu revină la starea iniţială. Raza cilindrului este $R = \sqrt{\dfrac{S}{\pi}}$, iar latura pătratului de la baza paralelipipedului este $a = \sqrt{S}$. Pentru a scoate paralelipipedul din poziţia de echilibru,

trebuie rostogolit, astfel încât centrul lui de greutate să fie ridicat cu înălţimea $h_1 = (\frac{H^2}{4} + \frac{a^2}{4})^{\frac{1}{2}} - \frac{H}{2}$ şi în cazul cilindrului, cu $h_2 = (\frac{H^2}{4} + R^2)^{\frac{1}{2}} - \frac{H}{2}$. Deoarece $S/4 < S/\pi$, rezultă $h_1 < h_2$, deci cilindrul este mai stabil!

- Să considerăm o bară *PQ* articulată în jurul unui pivot *P* şi agăţată de un cablu (figura 1'.22). Tensiunea $\vec{T}$ în cablu şi greutatea $\vec{G}$ a barei, ca şi forţa $\vec{E}$ exercitată de articulaţie sunt în echilibru ($\vec{T} + \vec{E} + \vec{G} = 0$ şi suma momentelor celor trei forţe în raport cu pivotul *P* este nulă). Dacă $PB=3PA$, să se arate că $E=2G$.

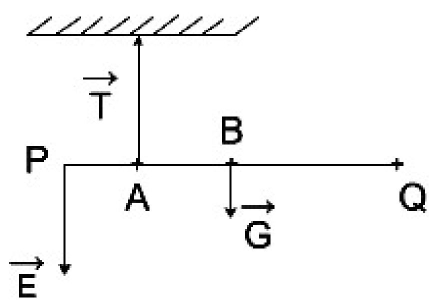


Fig. 1'.22

(R) Aplicăm legea pârghiilor: $PA \cdot T = PB \cdot G$. Atunci $T=3G$, deci $E=T-G=2G$.

Notă: Bara poate fi modelul unui antebraţ, cu pivotul în cot; tensiunea este exercitată de muşchi şi, ca atare, se poate determina forţa exercitată de articulaţie, cunoscând greutatea antebraţului.

Maxilarul unui crocodil suportă forţa $\vec{M}$ exercitată de muşchi; notăm cu $\vec{B}$ forţa de reacţie a obiectului muşcat şi cu $\vec{R}$ forţa exercitată de articulaţia maxilarului în P (figura 1'.23). Ce relaţii se pot stabili (cu aproximaţie)?

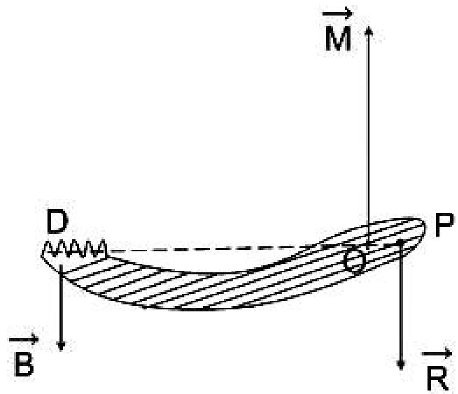


Fig. 1'.23

(R) $M=B+R$ şi $OD \cdot B = OP \cdot R$. Astfel de situaţii pot prezenta interes în „Mecanica medicală".

CAPITOLUL 2′ - FENOMENE TERMICE

Cunoaşteţi principiile de bază ale teoriei cinetico–moleculare?

Răspuns (R) Cei mai mulţi elevi răspund aşa: toate substanţele constau din molecule care se află în agitaţie permanentă. Este prea puţin… Răspunsul necesar este:

- Substanţele au o structură „granulară”, constând din molecule şi atomi;
- Într-un mol de substanţă se găsesc $N_A = 6 \times 10^{23}$ molecule (numărul lui Avogadro), independent de starea de agregare a substanţei (solidă, gazoasă, lichidă ...);
- Moleculele oricărei substanţe se află în mişcare termică, se ciocnesc între ele şi de pereţii vaselor, iar vitezele şi energiile lor au anumite distribuţii; intensitatea mişcării termice depinde de temperatura absolută T. Ar mai fi şi altele.

Ce este un mol de substanţă?

(R) Mulţi elevi declară că aşa ceva s-a studiat la Chimie. Molul este cantitatea de substanţă care conţine tot atâtea molecule câţi atomi se găsesc în 12 g de carbon. Aşadar, molul nu este masa în grame a unei molecule, aşa cum se răspunde adesea.

Cât este masa unui mol de substanţă?

(R) Aceasta este numită şi masă molară. Un mol are $N_A = 6 \times 10^{23}$ molecule identice pentru fiecare substanță în parte; dacă m_0 este masa unei molecule din acea substanţă rezultă că masa molului respectiv este $\mu = m_0 \cdot N_A$. Dacă m este

masa unui gaz, atunci $\nu = \dfrac{m}{\mu}$ este numărul de moli din acel gaz, iar numărul de molecule ale gazului este $N = \nu \cdot N_A$.

De ce se spune că numărul lui Avogadro este o „punte" între proprietăţile microscopice şi macroscopice ale substanţelor?

(R) Numărul N_A este o constantă universală, obiectivă (independentă de oameni); el este numărul de atomi din 12 g carbon. S-a adoptat această convenţie şi a rămas aşa. Un argument a fost acela că masa molară a lui H_2 trebuie să fie egală cu 2. Se poate arăta că pentru o substanţă cu masa molară μ şi densitatea ρ, distanţa medie între molecule este $d \cong \sqrt[3]{\dfrac{\mu}{\rho N_A}}$ [căci μ grame au N_A molecule $\Rightarrow$ 1 g are $\dfrac{N_A}{\mu}$ molecule; apoi 1 cm^3 are ρ grame, deci 1 cm^3 are $\rho \dfrac{N_A}{\mu}$ molecule $\Rightarrow$ pe un cm avem $\sqrt[3]{\dfrac{\rho N_A}{\mu}}$ molecule şi distanţa dintre două molecule va fi $d \cong \sqrt[3]{\dfrac{\mu}{\rho N_A}}$ cm]. De exemplu, pentru Fe, molecula este de fapt atom; μ=56 g/mol, ρ=7,8 g/cm^3 $\Rightarrow$

$$d \cong \sqrt[3]{\frac{56}{7{,}8 \times 6 \times 10^{23}}} \cong 2 \cdot 10^{-8} \text{ cm.}$$

Constanta lui Avogadro se referă numai la gaze?

(R) Nu. Există moli din orice substanţe – fier, apă, ţiţei etc.

Ce este energia totală E a unui corp?

(R) $E=E_c+E_p+U$, unde E_c=energia cinetică a corpului (privit ca un tot), E_p=energia potenţială a corpului (ca un tot, relativ la un nivel fixat) şi U=energia legată de mişcarea termică a moleculelor (de translaţie, rotaţie sau vibraţie), numită şi energia internă a corpului.

Notă: În teoria moleculară a substanţelor, se arată că energia medie a unei molecule este $E_m = \frac{3}{2}kT$ (unde k= $1{,}38\times10^{-23}$ J/K este o constantă fizică remarcabilă, constanta lui Boltzmann şi T=temperatura absolută a moleculei).

- Se spune că mişcarea termică a moleculelor depinde de interacţiunile moleculelor şi se modifică prin trecere de la o stare de agregare la alta. Ce semnificaţie are acest fapt?

(R) Considerăm interacţiunea dintre două molecule şi pentru orice r>0, să notăm cu $W(r)$ energia potenţială a interacţiunii lor, în cazul că centrele moleculelor se află la distanţa r. Pentru $r \to \infty$, nu există interacţiune deci $W(r) \to 0$ şi pentru $r \to 0$ moleculele se apropie de ciocnire şi $W(r) \to \infty$. Există un interval $[r_0, r_1]$ în care perechea respectivă se comportă ca un „sistem legat”, care produce o energie potenţială negativă (numită „groapă de potenţial”), din care se poate ieşi doar adăugând o anumită energie de la celelalte molecule.

În cazul $r \in [r_0, r_1]$, perechea respectivă de molecule face oscilaţii (fig.2’.1)

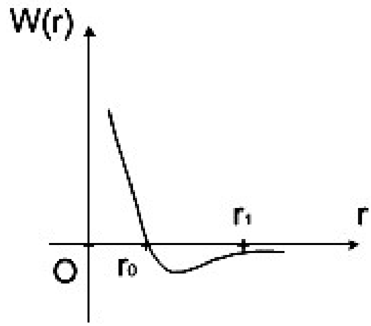


Fig. 2'.1

Fiecare moleculă participă la trei tipuri de mişcări: translaţii, rotaţii şi oscilaţii („bâţâieli") ale atomilor din interior. Într-un cristal (sau solid), avem doar oscilaţii şi moleculele formează un „sistem legat". În lichide apar toate trei tipurile şi la molecule monoatomice (Fe, Al, Cl, Pb) au loc îndeosebi translaţii. Creşterea temperaturii conduce la intensificarea agitaţiei moleculare şi modificarea stărilor de agregare.

Ce înseamnă energie potenţială negativă?

(R) Energia se poate măsura de la orice nivel. De exemplu, energia potenţială a unei pietre se poate măsura de la nivelul unui loc dat, sau de la nivelul mării. În cazul considerat anterior, se putea considera o figură de forma din fig.2'.2 unde nivelul „α" corespunde interacţiunii „nule" a perechii de molecule.

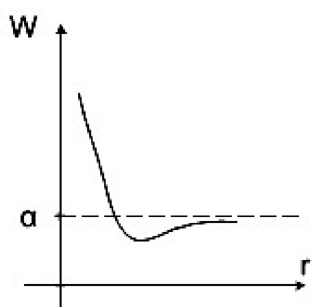


Fig. 2'.2

Teoria cinetică–moleculară permite o descriere spectaculoasă a proceselor de vaporizare şi fierbere a lichidelor. Este fierberea o vaporizare intensă şi rapidă, aşa cum spun unii elevi?

(R) Răspunsul este negativ. În cazul vaporizării, moleculele mai rapide din lichid îşi iau zborul, deoarece înving atracţia celorlalte molecule. Vaporizarea este favorizată de o suprafaţă mai mare a lichidului şi de temperatura mai mare. Fierberea este legată de formarea de bule de gaz şi presiunea acestui gaz creşte cu temperatura, depăşind suma dintre presiunea atmosferică și presiunea stratului superior de lichid. La un moment dat, aceste bule se ridică şi lichidul fierbe. Vaporizarea se poate produce la orice temperatură, în timp ce fierberea, doar la o anumită temperatură t_f^0.

Se spune că apa fierbe la 100°C. În ce condiţii, ar putea fierbe la 20°C sau mai jos?

(R) Să considerăm o retortă (un balon de sticlă) cu puţină apă la temperatura camerei, să zicem la 20°C. Aspirăm cu ajutorul unei pompe aerul din retortă de deasupra apei. În acest mod, scade presiunea deasupra apei din retortă şi implicit punctul de fierbere t_f^0; în condiţii normale (la presiunea atmosferică), t_f^0 =100°C. Dar cu pompa de vid, se poate ajunge ca t_f^0=20°C. Dacă pomparea se face foarte rapid, se ajunge la o vaporizare intensă; apa pierde moleculele mai rapide, ajungând la răcirea

apei, chiar până la solidificare şi transformare a restului de apă nevaporizată în gheaţă!

<u>COMPLETARE</u>: <u>Dilatarea termică a apei („apa la 4°C”)</u>

Există o particularitate a apei (un fel de anomalie) care poate fi explicată doar considerând structura ei atomică. Anume, prin încălzire de la 0°C la 4°C, apa se comprimă (!!!) şi doar începând de acolo şi crescând temperatura, apa începe să se dilate. Iată explicaţia: moleculele de apă interacţionează într-un mod direcţionat, în sensul că fiecare moleculă se poate cupla cu doar 4 molecule vecine, ale căror centre formează un tetraedru, ca în figura 2’.3. Se formează astfel o structură poroasă, un fel de „broderie” cvasicristalină a apei.

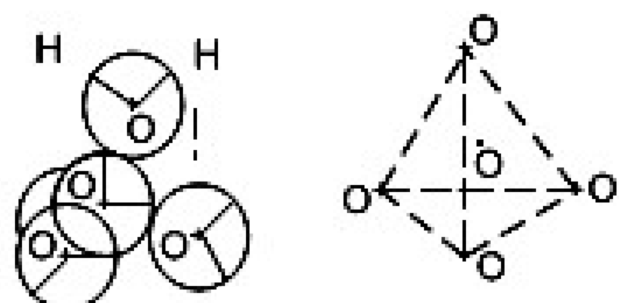


Fig. 2’.3

Cu creşterea temperaturii până la 4°C, precumpăneşte acest efect de structură şi densitatea apei creşte. Prin încălzire peste 4°C, se impune efectul de vibraţie şi densitatea apei scade, crescând numărul de molecule cu legături libere, care umplu golurile structurii tetraedrale.

<u>Notă:</u> Dublarea presiunii unui gaz, într-un vas, la temperatură constantă, conduce la înjumătăţirea volumului

acestui gaz. Dar apa este practic incompresibilă şi o comprimare infimă îi dublează presiunea!

Ştiţi ce este un gaz ideal?

(R) Este un gaz în care moleculele nu interacţionează între ele şi, în plus, se neglijează energia interacţiunilor. Ca rezultat, energia internă U este reprezentată ca suma energiilor cinetice ale moleculelor lui. Gazul ideal este un model simplificat al gazului real – abur, aer, azot, oxigen, vapori de sodiu etc.

Fie un gaz cu N molecule, fiecare având o energie cinetică medie E_m. În general, energia internă este $U= NE_m+U'$, unde U' este energia potenţială a interacţiunilor moleculelor. În cazul unui gaz ideal monoatomic, se neglijează U' şi $U=NE_m=\frac{3}{2}NkT$ (conform formulei lui Boltzmann). Dacă temperatura este suficient de mare şi dacă gazul este suficient de rarefiat, atunci $NE_m \gg U'$. Un gaz se consideră ideal dacă el este suficient de încălzit şi rarefiat. În condiţii normale (la 0^oC=273 K şi presiune de 1 bar≡760 mm col. Hg≡$1{,}013\ 10^5$ Pa), aerul şi aburul sunt „aproape ideale".

Care sunt parametrii care determină starea unui gaz (ideal)?

(R) Presiunea p, volumul V şi temperatura T absolută, cu $T=(t^oC+273^oC)$, dar şi masa gazului (numărul N de molecule sau numărul ν de moli). Între aceşti parametri, există o relaţie de forma $p=p(V, T, \nu)$, numită ecuaţia de stare a gazului. Cunoscând trei dintre parametri, se poate afla matematic al patrulea. Toţi aceşti parametri au valori reale şi strict pozitive.

Ştiţi ce semnificaţie are numărul 22,414? Puteţi regăsi valoarea constantei universale a gazelor R?

(R) 1 mol de orice gaz în condiţii normale (p_0=p_a=1,013×10^5 Pa, T_0=0°C=273 K) ocupă volumul V_0= 22,414 l. Conform legii gazelor (ideale), avem $p_0V_0=\nu RT_0$. Cum $\nu=1 \Rightarrow$

$$R=\frac{p_0V_0}{T_0}=\frac{1{,}013\times10^5\times22.414\times10^{-3}}{273}=\frac{2241{,}4}{273}\cong 8{,}31 \text{ J/mol.K.}$$

Presupunând cunoscute legile Boyle–Mariotte şi Gay–Lussac, ştiţi cum se poate deduce legea unitară a gazelor?

(R) Ştim că din orice stare (p_1, V_1, T_1) se poate trece în orice altă stare (p_2, V_2, T_2) parcurgând o izotermă şi apoi o izobară în planul p–V (figura 2'.4). Parametrii stării intermediare sunt (p_2, V_3, T_1).

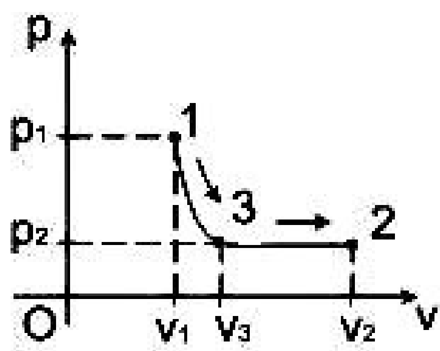


Fig. 2'.4

Legea Boyle–Mariotte are loc pe izoterma 1–3 deci $p_1V_1=p_2V_3\Rightarrow V_3=\frac{p_1V_1}{p_2}$.

Apoi, legea Gay–Lussac are loc pe izobara 3–2 deci $\frac{V_2}{T_2}=\frac{V_3}{T_1}\Rightarrow V_3=\frac{V_2T_1}{T_2}$. Aşadar, $\frac{p_1V_1}{p_2}=\frac{V_2T_1}{T_2}\Rightarrow\frac{p_1V_1}{T_1}=\frac{p_2V_2}{T_2}$.

Notă: Acelaşi lucru se poate deduce folosind alte două legi. Istoriceşte, legile Boyle–Mariotte, Gay–Lussac, Charles au fost „demonstrate” experimental, anterior legii Clapeyron–Mendeleev.

Ce procese termodinamice standard cunoaşteţi?

(R) Procesele termodinamice sunt schimbări sistematice de stări, pornind de la o stare iniţială spre una finală. Procesele standard sunt izoterme (T=constant), izobare (p=constant), izocore (V=constant) şi adiabatice (Q=constant, $\Delta Q = 0$).

Există vreo diferenţă între legea lui Clapeyron–Mendeleev şi legea unitară a gazului ideal?

(R) Legea unitară este $\frac{pV}{T}$=constant. Nu există deosebiri esenţiale; dar legea Clapeyron–Mendeleev este ceva mai precisă: $p = \frac{\nu RT}{V}$, unde R=8,314 J/molK este constanta universală a gazului ideal ($R = N_A \cdot k$, unde N_A este numărul lui Avogadro şi k este constanta lui Boltzmann).

Care este enunţul principiului I al termodinamicii?

(R) Cu notaţii transparente, $Q = \mathfrak{L} + \Delta U$. În esenţă, aceasta reprezintă legea conservării energiei: variaţia energiei oricărui corp gazos, solid sau lichid este dependentă de lucrul efectuat şi de transferul de căldură. Aşadar, $\Delta U = \pm \mathfrak{L} \pm Q$, cu convenţia că semnele „+” se referă la cazul când corpul obţine (absoarbe, primeşte) energie din exterior, iar „–” la cazul când corpul transferă (cedează, emite) energie spre corpurile înconjurătoare.

Aşadar, dacă gazul (sau orice alt corp) nu se comprimă sau nu se destinde, atunci schimbul de energie cu corpurile înconjurătoare este posibil doar prin transfer de căldură.

Notă: Prin convenţie, $\mathfrak{L}>0$ dacă asupra sistemului se efectuează lucru; $\mathfrak{L}<0$ dacă sistemul face lucru; $Q>0$ dacă energia mecanică trece în alte forme şi $Q<0$ dacă o formă nemecanică de energie trece în lucru mecanic.

- Principiul I a apărut în legătură cu practica maşinilor cu abur şi cu observarea transformărilor energiei dintr-o formă în alta. Există situaţii unde nu se aplică principiul I?

(R) Da, de exemplu în cazul proceselor care au loc fără schimb de căldură sau care nu efectuează lucru, cu modificarea volumului.

- Se poate transfera unui corp o cantitate de căldură fără a provoca astfel creşterea temperaturii corpului?

(R) Da, de exemplu, în cazul când corpul efectuează lucru sau dacă îşi modifică starea de agregare.

- Un obiect cade de pe masă şi ajunge pe podea. Ce se întâmplă cu energia sa cinetică? În mod similar, ce se întâmplă cu energia sunetului dintr-un megafon?

(R) Se transformă în energie termică (prin deformarea podelei, respectiv a aerului).

- Uneori un gaz cedează la răcire mai puţină căldură decât s-a consumat la încălzirea sa. Se contrazice legea conservării energiei?

(R) Nu; trebuie ţinut cont de lucrul efectuat de gaz.

- De ce la tăierea unui copac, fierăstrăul se încălzeşte la temperatură mai mare decât copacul?

(R) Capacitatea calorică a fierăstrăului este mai mare decât cea a lemnului. Capacitatea calorică a unui corp este căldura necesară pentru a creşte temperatura corpului cu 1K ($C=Q/\Delta T$, măsurată în J/K).

- O bilă de cupru şi una de fier având aceeaşi temperatură cad de la aceeaşi înălţime. Care din ele s-a încălzit mai tare la o lovire de sol? [Se neglijează rezistenţa aerului].

(R) Modificările temperaturilor cuprului şi fierului sunt invers proporţionale cu căldurile lor specifice; cuprul se încălzeşte mai tare.

- De ce capacitatea calorică specifică a unui gaz încălzit la volum constant diferă de capacitatea aceluiaşi gaz dilatat liber?

(R) În cazul secund, energia absorbită este folosită nu doar la încălzire ci şi la efectuarea de lucru.

- De ce este frig pe înălţimile unui munte, deşi aerul rece ar trebui să coboare?

(R) Aerul cald se ridică pe pantele muntelui, căzând acolo unde presiunea atmosferică este scăzută, răcindu-se.

- Cum se determină lucrul $\mathfrak{L}$ şi căldura Q în cazul unei destinderi izobare?

(R) Să considerăm un gaz aflat într-un vas cu piston mobil cu aria S, gazul destinzându-se la presiune constantă p de la

volumul V_1 la volumul V_2 (fig. 2′.5). Gazul mută pistonul pe o distanţă Δl , cu forța F a presiunii gazului.

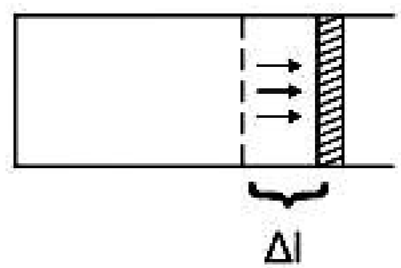


Fig. 2'.5

Lucrul efecuat este $\mathfrak{L} = F \cdot \Delta l = p \cdot S \cdot \Delta l = p \cdot \Delta V = p(V_2 - V_1)$.

Dacă destinderea <u>nu</u> este izobară, atunci $\mathfrak{L} = \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV$.

Pentru a determina ΔU, se foloseşte relaţia $U = \frac{3}{2}\nu RT \Rightarrow \Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T$.

Aplicând principiul I, se determină Q.

<u>Dar în cazul unui proces izocor</u>?

(<u>R</u>) În acest caz, transferul de energie prin lucru lipseşte: $\mathfrak{L} = 0$, deci conform principiului I, Q=ΔU. Dacă gazul este termic izolat (termoizolat), atunci Q=0 şi ΔU=0, iar temperatura nu se schimbă.

<u>Este posibilă o destindere izotermică într-un gaz termoizolat</u>?

(<u>R</u>) Aşadar, Q=0 deci $\Delta U = -\mathfrak{L}$. Pentru a efectua lucru, gazul trebuie să absoarbă căldură din mediu. Deci într-un gaz termoizolat, <u>nu</u> este posibilă o destindere izotermică.

<u>În ce caz, energia internă a gazului este constantă</u>?

(<u>R</u>) Dacă temperatura gazului este constantă, conform principiului I, ΔU=0 $\rightleftarrows$ Q= $\mathfrak{L}$. Pentru efectuare de lucru, gazul trebuie să absoarbă căldură.

- <u>Ce sunt procesele adiabatice? Este atunci posibil ca ele să fie şi izotermice, izobarice sau izocore</u>?

(<u>R</u>) Sunt exact cele termoizolate (Q=0). Nu sunt posibile alte tipuri.

- <u>Ce se întâmplă într-o destindere adiabatică? Dar într-o compresie adiabatică</u>?

(<u>R</u>) Prin destindere adiabatică, $\mathfrak{L}$ =-ΔU. Lucrul se efectuează atunci prin cheltuială de energie internă şi scăderea temperaturii. Prin compresie adiabatică, se măreşte energia internă a gazului (pe seama lucrului forţelor externe) şi ca rezultat, temperatura gazului creşte.

- <u>Să presupunem că un gaz este încălzit şi îi creşte temperatura cu</u> ΔT. <u>Facem acest lucru în două moduri: o dată la volum constant (≡încălzire izocoră) şi apoi la presiune constantă (≡încălzire izobară). Credeţi că se consumă aceeaşi cantitate de căldură sau nu</u>?

(<u>R</u>) Mulţi elevi răspund afirmativ. Dar în realitate, nu! La volum constant, nu se efectuează lucru şi toată căldura Q_V merge la variaţia lui ΔU a gazului. La presiune constantă, încălzirea gazului se face prin destinderea lui, efectuându-se lucrul $\mathfrak{L} = p \cdot \Delta V$. Căldura Q_P introdusă în acest caz merge parţial la ΔU şi parţial la lucrul indicat, deci $Q_P > Q_V$.

- <u>Aşadar, câte capacităţi calorice are un corp</u>?

(R) Evident, două: una la volum constant (notată C_V) şi alta la presiune constantă (C_P): $C_V = \dfrac{Q_V}{\Delta T}$, $C_P = \dfrac{Q_P}{\Delta T}$ măsurate în J/K. Pentru diverse corpuri (substanţe), acestea sunt date în tabele termodinamice.

- Cunoaşteţi relaţia lui Mayer de legătură între C_V şi C_P?

(R) $C_P = C_V + R$

- Ce sunt căldurile specifice?

(R), $c_V = \dfrac{C_V}{m}$, $c_P = \dfrac{C_P}{m}$ (m = masa de gaz).

Deci c_V este căldura necesară pentru a încălzi la volum constant 1 kg de substanţă cu 1 K. c_V se măsoară în [J/kg.K]. La fel şi c_P (la presiune constantă).

- De ce se răceşte ceaiul dacă este trecut dintr-o cană în alta?

(R) Se măreşte suprafaţa liberă a lichidului deci contactul lichid–aer. Ceaiul cedează caldura cănilor.

- Ce sunt căldurile latente (de fierbere/condensare sau de topire/solidificare)?

(R) Sunt energiile necesare pentru scoaterea din latenţă (adică din starea de agregare în care se află). La apă, căldura latentă de fierbere este de 2300 kJ/kg şi căldura latentă de solidificare este 334 kJ/kg.

- De ce un bloc de gheaţă rămâne mult timp netopit în cursul unei zile calde?

(R) Pentru topirea gheţii, este necesară multă căldură pentru schimbarea stării de agregare (căldură latentă). Gheaţa nu este un bun conducător de căldură.

- De ce aburul la 100^{o}C este mai periculos decât apa la 100^{o}C?

(R) Aburul expandează în mediul înconjurător.

- De ce este posibil să ţinem un chibrit aprins până ce flacăra este destul de aproape de degete?

(R) Deoarece lemnul chibritului este prost conducător de căldură.

- Ce este conductivitatea termică λ a unei substanţe?

(R) Este viteza cu care căldura este condusă prin acea substanţă; în cazul unei plăci, λ depinde de substanţă, de arie, grosime şi diferenţa de temperaturi între feţe. Conductivitatea λ se măsoară în W/mK.

- De ce lasă avoanele o dâră albă în zbor?

(R) Se condensează vaporii de apă eliminaţi de gazele de eşapament.

- De ce atunci când plouă, zăpada se topeşte mai uşor?

(R) Zăpada preia o parte din căldura picăturilor de ploaie.

- De ce şoselele din beton se construiesc cu distanţieri (≡rosturi) între lespezi?

(R) Pentru a permite dilatări şi contracţii ale betonului, fără ca acesta să se spargă.

- De ce se sparg conductele de apă iarna?

(R) Volumul gheţii este mai mare decât cel al apei.

- De ce lămpile electrice se umplu cu gaz inert?

(R) Să nu se oxideze filamentul şi presiunea gazului încălzit să nu depăşească presiunea atmosferică.

- De ce în unele ţări calde băuturile se pun în vase cu pereţi poroşi?

(R) Prezenţa porilor în pereţii vasului conduce la creşterea suprafeţei libere a lichidului şi cu cât mai multe molecule rapide părăsesc vasul, cu atât mai repede se răceşte băutura.

- Dacă intri în apă într-o zi caldă, apa pare mai rece decât aerul şi când ieşi este invers. De ce?

(R) Din cauza capacităţii calorice mai mari, apa se încălzeşte mai lent decât aerul. La ieşirea din apă, picăturile rămase pe corp se evaporă, pielea se răceşte şi aerul pare mai rece decât apa.

- Fierbe sau nu apa dintr-un pahar care pluteşte într-un vas cu apă fiartă?

(R) În ambele vase, temperatura este de 100°C. Din vasul exterior energia nu se transferă şi ca atare, apa din pahar nu produce abur.

- De ce oamenii au prelucrat bronzul înainte de fier?

(R) Temperatura de topire a bronzului este mai mică.

- De ce un lac îngheaţă mai repede decât un râu?

(R) Mişcarea apei în râu se face de la fundul apei spre suprafaţă.

- De ce pe ger „crapă pietrele"?

(R) Apare o diferenţă de dilatare; la suprafaţă ele se contractă.

- Cum se explică „florile de gheaţă" iarna, la ferestre?

(R) Din cauza desublimării apei aflate în vaporii din atmosferă.

- Să se determine masa m de CO_2 aflat într-un volum V=40l la temperatura t=13°C şi presiunea $p=2{,}7\times10^{6}$ Pa.

(R) $m = \frac{pV\mu}{RT} \cong \frac{2,7\times 10^{6}\times 40\times 10^{-3}\times 44}{8314\times 286} \cong 2\,\text{kg}.$

Ce cunoaşteţi despre termocuple ?

(R) Termocuplele măsoară temperaturi locale; anume, apare o tensiune electromotoare într-un circuit electric închis format de doi conductori metalici diferiţi când locurile de sudură se află la temperaturi diferite.

Aţi auzit de principiul Le Chatelier ?

(R) O formulare este astfel : Orice acţiune externă care scoate un sistem din starea de echilibru creează procese care slăbesc rezultatul acelei acţiuni. Vulgar: orice acţiune creează în natură o reacţiune.

De exemplu: legea a III–a lui Newton; legea inducţiei Joule–Lenz; apoi, încălzirea unui corp stimulează procese legate de absorbţia căldurii. Principiul Le Chatelier permite să prezicem în ce direcţie se deplasează starea de echilibru dacă se modifică anumiţi parametri externi care determină starea sistemului .

Notă: Am vorbit de câteva principii, dar nu am definit termenul respectiv. De regulă, un principiu este un adevăr fundamental, impus de faptul că nu a fost infirmat de nici un experiment; în schimb, o lege descrie matematic esenţialul unui fenomen. Legat de principiul lui Le Chatelier, oare ce se opune „gravitaţiei universale”? Nici noi nu ştim răspunsul!

Ce sunt maşinile termice? Dar motoarele termice?

(R) Maşinile termice sunt sisteme termodinamice care schimbă căldură şi lucru cu mediul extern, după ciclii termici. Motoarele

termice sunt un caz particular de maşini termice, care primesc căldură de la sursa caldă, pe care o cedează efectuând lucru asupra exteriorului.

Acţiunea unei maşini este bazată pe variaţia stării unui gaz de lucru care urmează un proces ciclic; la sfârşitul ciclului, gazul revine la starea iniţială. Schimbul energetic diferă de la maşină la maşină.

În ce condiţii o maşină termică atinge randamentul maxim ?

(R) Pentru temperaturile T_1, T_2 fixate ($T_1>T_2$) pentru încălzitor şi respectiv răcitor (≡condensator), randamentul maxim îl atinge o maşină termică ideală care îşi modifică stările după ciclul Carnot; corpurile încălzitor şi răcitor trebuie să fie „mari", pentru ca schimbul energetic să nu conducă la variaţia temperaturilor T_1, T_2. Gazul de lucru intră alternativ în contact termic cu încălzitorul şi cu răcitorul, schimbând energie prin transfer de căldură. Ciclul Carnot constă din două izoterme şi două adiabate (fig. 2′.6).

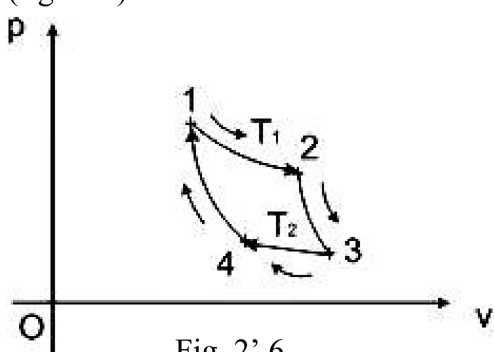


Fig. 2'.6

Pe izoterma 1–2 (la temperatura T_1), gazul primeşte de la încălzitor căldura Q_1 şi o consumă destinzându-se şi efectuând

lucrul $\mathfrak{L}_1$. Apoi pe adiabata 2–3 gazul efectuează lucrul $\mathfrak{L}_3$ şi temperatura îi scade la valoarea T_2 (a răcitorului). Pe izoterma 3–4 la temperatura T_2, gazul cedează răcitorului căldura Q_2 egală cu lucrul $\mathfrak{L}_2$ la comprimarea gazului. Pe porţiunea 4–1 de adiabată, lucrul $\mathfrak{L}_4$ la comprimarea gazului trece în energie internă (ca o consecinţă a faptului că temperatura creşte la valoarea T_1). Aşadar, se revine la starea 1, la aceeaşi energie internă ca la plecare!

Care este valoarea randamentului maxim?

(R) Considerăm o maşină termică ce lucrează după ciclul Carnot. Gazul absoarbe (primeşte) căldura Q_1 de la încălzitor şi cedează răcitorului căldura Q_2. Deoarece $Q_1 = \mathfrak{L}_1$ şi $Q_2 = \mathfrak{L}_2$ rezultă $Q_2 < Q_1$. În acelaşi timp, energia internă a gazului după un ciclu rămâne ca la început, deci diferenţa Q_1-Q_2 este cedată de gaz mediului extern. Ca atare, randamentul maşinii Carnot este $\eta_C = \dfrac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \dfrac{Q_2}{Q_1}$.

Se poate arată că avem $\dfrac{Q_2}{Q_1} = \dfrac{T_2}{T_1}$, deci $\eta_C = 1 - \dfrac{T_2}{T_1}$. Randamentul η_C nu depinde de proprietăţile gazului de lucru. Chiar şi într-o maşină termică ideală, rezultă $\eta < 1$. Fracţia $\dfrac{T_2}{T_1}$ de energie cedată de încălzitor trece fără utilitate în mediul extern, sub formă de căldură.

De ce nu poate exista un vapor care să extragă apă din ocean, luându-i o parte din energia internă şi aruncând apa răcită pe la pupă?

(R) Neexistând două surse de căldură la temperaturi diferite, randamentul este nul.

Ce este „moartea termică a Universului”?

(R) Un sfârşit al Universului prin atingerea echilibrului termic şi a unei temperaturi uniforme. Aşadar, ar exista o singură sursă de căldură şi nimic nu s-ar mişca. Este foarte puţin probabil, tot aşa ca şi o maşină termică ce nu poluează.

Ce se înţelege prin afirmaţia: „corpul uman este o maşină termică având randamentul de 20%”?

(R) Adică 20 % din energia termică trece în lucru mecanic.

Se poate răci camera deschizând uşa frigiderului?

(R) Nu, deoarece energia termică scoasă afară este mai multă decât cea extrasă din cameră.

Un inginer a imaginat o maşină termică prin utilizarea diferenţei de temperaturi ale apei la diverse adâncimi. Dacă la suprafaţa apei temperatura este de 20^{o}C şi la 50 m adâncime, de 10^{o}C, ce randament maxim se poate realiza ?

(R) $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{283}{293} \cong 3,4\%$.

Despre randamentul maşinilor termice reale ce puteţi spune?

(R) Randamentul unei maşini termice reale este strict mai mic decât η_C, din cauza diverselor procese ireversibile (frecări, imprecizii etc.). Se pot aduce îmbunătăţiri ale randamentelor (de

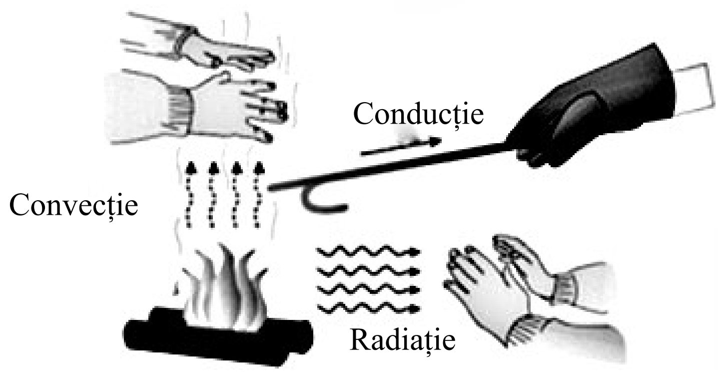
exemplu, mărind T_1). Motoarele cu ardere internă se apropie de ciclul Carnot.

<u>**COMPLETARE**</u>: <u>Conducţia, convecţia, radiaţia</u>

Transferul de căldură de la un corp fizic la altul se face prin: conducţie, convecţie şi radiaţie.

Prin <u>conducţie</u> nu se transferă materie. Căldura trece de la cald la rece!

<u>Exemplu</u>: Apa caldă încălzeşte linguriţa rece. La fel, încălzind o ţeavă la un capăt, mişcarea moleculelor duce la încălzirea celuilalt capăt.



Argintul, cuprul sunt bune conducătoare de căldură. Lichidele, <u>nu</u> (cu excepţia topiturilor metalice); gazele, <u>nu</u>. Lâna, blana sunt rele conducătoare de căldură (pentru că au aer între fibre). <u>Vidul</u> este rău conducător de căldură. Gheaţa se poate păstra în pivniţă, acoperită cu substanţe protectoare, rele conducătoare de căldură (ex. paie, pământ). Zăpada moale protejează recoltele contra îngheţului.

Convecţia este un transfer de căldură prin curenţi de aer sau lichid. („convectio”≡transferanţă).
Lichidele şi gazele sunt de regulă încălzite de jos. Exemplu: Un ibric cu apă are focul dedesubt; caloriferul este sub fereastră… Aerul fierbinte se ridică în sus (pentru că densitatea aerului cald este mai mică decât densitatea aerului rece!). Forţa ascensională excede gravitația. La fel la lichide. Aceasta este o convecţie naturală. Prin pompe sau agitatoare, are loc şi o convecţie forţată.
În solide avem doar conducţie (nu şi convecţie).
Exemple: 1) Vânturile sunt curenţi imenşi de aer. Aerul de deasupra Pământului se încălzeşte mai repede decât cel de deasupra mării şi îl dislocuieşte pe cel rece, realizând mişcări ale maselor de aer.
2) Combustibilii nu ard fără flux de aer proaspăt, care conţine oxigen, orice ardere fiind de fapt o oxidare. Vetrele, grătarele creează curenţi prin cuptoare. Aerul din cuptor se încălzeşte, se ridică ascensional, înlocuit de aerul rece intrat în vatră, conform diferenţei de presiune („tiraj”). Coşurile înalte cresc aceste diferenţe.
Pierderile (disipările) energetice sunt inerente şi de aceea, se folosesc izolări termice. Se spune că „energia termică fuge!”
- Rămâne să discutăm despre radiaţia termică. Ce aveţi de spus?

(R) Toate corpurile radiază energie. De exemplu, corpul uman, orice focar şi orice bec electric. Radiaţia are loc şi în vid. Radiaţia solară transferă $3{,}9 \times 10^{26}$ W spre Pământ (nici

convecţie, nici conducţie!); omenirea produce circa 10^{14} W deci nesemificativ față de radiația solară. Cu cât temperatura corpurilor este mai mare, cu atât creşte energia transmisă prin radiaţie. Corpurile cu suprafeţe „negre" absorb mai multă energie şi devin mai calde; tot ele se şi răcesc mai repede.

Exemple 1) Într-o cană de culoare deschisă, apa rămâne caldă mai mult timp decât într-o cană neagră.

2) Baloanele şi aripile de avion se vopsesc în argintiu pentru a micşora încălzirea lor de la Soare. Aluminiul respinge radiaţia termică.

3) Pentru a utiliza energia solară şi a încălzi unele obiecte, acestea se vopsesc în negru.

- Sateliţii artificiali ai Pământului orbitează practic în vid. Credeţi că ei se răcesc atunci când intră în umbra Pământului?

(R) Sateliţii se răcesc prin emitere de radiaţii.

- Un termos are două vase de sticlă şi vid între ele, iar pereţii vaselor sunt argintaţi. În ce mod se minimizează cedarea de căldură?

(R) Vidul reduce conducţia şi convecţia, iar argintarea reduce radiaţia. De aceea, termosul păstrează destul de bine temperatura conţinutului termosului.

- Puteţi da exemple „cotidiene" de transfer termic?

(R) Pământul absoarbe energie şi se încălzeşte. Noaptea se răceşte şi vegetaţia reglează procesele termice. Nopţile fără nori grăbesc răcirea. Norii ecranează radiaţia. Serele exploatează

radiaţia solară; sticla este capcană pentru energie. La „efectul de seră”, sticla transmite radiaţia solară vizibilă, care încălzeşte Pământul negru. Totodată, sticla previne stratul de aer de la suprafaţă să nu se răcească, deoarece reţine radiaţia invizibilă emisă de suprafaţa încălzită a Pământului. Astfel, în interiorul unei sere, temperatura este mai mare cu 10 K decât cea din exteriorul serei. Efectul de seră se resimte şi într-un automobil; anume, lumina vizibilă trece prin ferestre se încălzeşte interiorul, stricând echilibrul termic. Practic, tot ceea ce ne înconjoară înseamnă schimb de căldură.

- Ce este căldura specifică a unei substanţe?

(R) Cantitatea de căldură Q, măsurată în J, este partea de energie internă pe care un corp o absoarbe sau o pierde într-un schimb de căldură; Q depinde de masă, de proprietăţile corpului şi de diferenţa de temperatură. De exemplu, pentru a creşte temperatura a 1 kg apă cu 1 K este necesară căldura $Q \cong 4200$ J. Căldura specifică c a unei substanţe este tocmai căldura necesară pentru a încălzi 1 kg din acea substanţă cu 1 K; c se măsoară în J/kgK. De exemplu, $c_{\text{apă}} \cong 4185$ J/kgK, $c_{\text{aer}} = 1000$ J/kgK; $c_{\text{oțel}} \cong 500$ J/kgK; $c_{\text{alcool}} \cong 2500$ J/kgK; $c_{\text{gheață}} \cong 2100$ J/kgK. Reamintim formula fundamentală $Q = mc\Delta T$.

- Dacă un boiler confecţionat din oţel are masa m=10 kg şi conţine 20 kg apă, ce cantitate de căldură trebuie transmisă boilerului, pentru a-l încălzi, împreună cu apa din el, de la 10 la 100°C?

(R) Presupunând că boilerul şi apa se află iniţial la aceeaşi temperatură, boilerul trebuie să primească $Q_1 = 500\times 10\times 90$ =0,45 MJ, iar apa primeşte $Q_2 = 4185\times 20\times 90$ =7,53 MJ şi pentru a le încălzi pe amândouă, trebuie $Q = Q_1 + Q_2$.

- De ce lângă lacuri este mai puţin cald vara, iar iarna mai puţin frig?

(R) Apa are o mare capacitate de a absorbi mari cantităţi de căldură; $c_{apă}$ este relativ mare şi tocmai de aceea, apa este utilizată în radiatoare .

- Ce este caloria şi care este echivalentul ei mecanic?

(R) O calorie (1 cal) este cantitatea de căldură necesară pentru a ridica temperatura a 1g apă de la 14 la 15^{o}C. Printr-un experiment celebru, Joule a arătat că 1cal≅4,2J. Această valoare este numită echivalentul mecanic al caloriei. Prin convenţie, 1kcal este numită calorie mare .

- Care este deosebirea dintre căldură şi temperatură?

(R) Căldura este un flux de energie termică, măsurată în J, iar temperatura este măsură a energiei cinetice medii a moleculelor (exprimată în grade Kelvin sau Celsius) .

O PROBLEMĂ MAI DEOSEBITĂ DE CALORIMETRIE: **„Într-un calorimetru care conţine m_1=6 kg gheaţă la temperatura t_1=−10^{o}C, se toarnă m_2=4 kg apă la t_2=70^{o}C. Neglijând capacitatea calorică a calorimetrului, ce temperatură τ se stabileşte în calorimetru?“**

Soluţie: Bineînţeles, $-10<\tau<70$, dar nu ştim valoarea τ. Cazul I: $\tau>0^oC$. Atunci în calorimetru vom avea doar apă, iar gheaţa se încălzeşte în trei faze: de la -10^oC (transformată în apă) la 0^oC, de la 0 la τ (deja apă) şi, pentru echilibru (a treia etapă), apa se răceşte de la 70^oC la τ.

Cu notații standard, $m_1c_1(0-t_1)+\lambda m_1+m_1c_2(\tau-0)=m_2c_2(t_2-\tau)$, unde $c_1=2{,}1\times10^3$ J/kgK, $c_2=4{,}2\times10^3$ J/kgK şi căldura latentă de topire a gheţii $\lambda=3{,}4\times10^5$ J/kgK.

Se obţine o valoare $\tau<0$; contradicţie.

Deci cazul I nu are loc.

Cazul II: $\tau<0^oC$. Atunci apa cedează căldură prin răcire la 0^oC, apoi are loc o transformare în gheaţă tot la 0^oC şi gheaţa se răceşte la temperatura τ. Deci $m_1c_1(\tau-t_1)-\lambda m_2+m_2c_2(0-t_2)=m_2c_1(0-\tau)$ şi rezultă $\tau>0$; din nou contradicţie.

Rămâne în mod necesar $\tau=0^oC$.

Ce puteţi spune despre combustibili?

(R) Combustibilii sunt acele substanţe care degajă căldură prin ardere. Pentru descompunerea substanţelor este necesară învingerea forţelor de atracţie interatomică (de exemplu, prin reacţii de tipul $2H_2O\rightarrow2H_2+O_2$; $2Al_2O_3\rightarrow4Al+3O_2$). La recombinarea atomilor pentru a forma molecule, se degajă energie. Utilizarea combustibililor se bazează pe eliberarea de energie atunci când atomii se combină.

Combustibilii fosili–cărbuni, ţiţei, metan etc. conţin C; în procese de ardere, atomii de C se combină cu atomii de oxigen din aer şi formează CO_2. Cantitatea de căldură Q eliberată după

combustia (≡arderea) completă a 1 kg combustibil se numeşte <u>căldură de ardere</u> (≡putere calorifică); $q = \frac{Q}{m}$ [J/kg] (pentru o masă *m* de combustibil). Căldura de ardere, *q,* se determină experimental.

De exemplu, pentru lemn uscat, $q=10^7$ J/kg≅2400 kcal/kg; $q_{\text{cărbune}}=1{,}3\times 10^7$ J/kg; $q_{\text{metan}}=4{,}1\times 10^7$ J/kg; $q_{\text{petrol}}=4{,}4\times 10^7$ J/kg≅10000 kcal/kg; $q_{\text{hidrogen}}=12\times 10^7$ J/kg; $q_{\text{alcool}}\cong 2{,}7\times 10^7$ J/kg.

- <u>Ce cantitate de căldură se eliberează după combustia a 200 g alcool</u>?

(<u>R</u>) $2{,}7\times 10^7\times 0{,}2=5400$ kJ$\simeq$ 1300 kcal.

- <u>Prin combustia lemnului uscat, au rezultat 50000 kJ. Ce masă de lemn a fost arsă</u>?

(<u>R</u>) $m = \frac{50000000}{10^7}$ =5 kg.

- <u>Cum vă imaginaţi vaporii de Fe sau aerul solid</u>?

(<u>R</u>) Temperatura de topire (S→L) a fierului≅1400°C şi cea de vaporizare (L→G) este de peste 3000°C. Similar, aerul este lichid la temperaturi negative şi solid la valori şi mai joase.

- <u>Ce este punctul triplu al unei substanţe</u>?

(<u>R</u>) Regiunile de topire, vaporizare şi sublimare sunt separate prin curbe ce determină condiţiile de echilbru a perechilor de faze.

Punctul de intersecţie a celor 3 curbe este numit punctul triplu.

În cazul apei, vezi figura 2′.7.

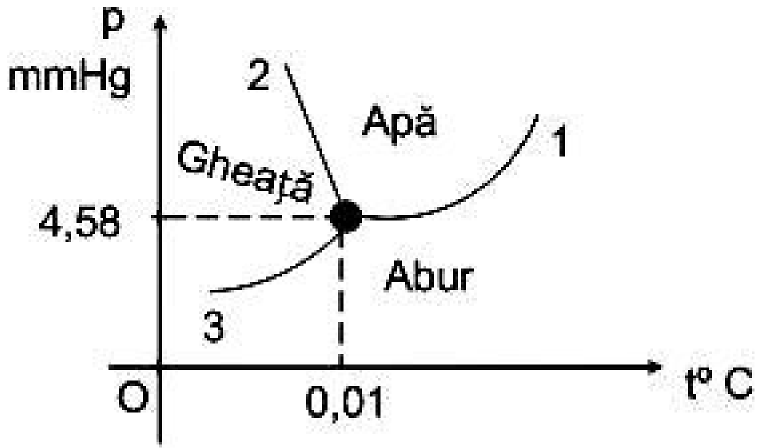


Fig. 2'.7

ț

INDICE DE NUME ȘI DE NOTAȚII (vol. I și II)

F

R

T